PEDRO ARTUR TELES FREIRE

RECURSOS HIDROMINERAIS DOS AÇORES: HIDROGEOLOGIA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOCIOECONÓMICO

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

2013

PEDRO ARTUR TELES FREIRE

RECURSOS HIDROMINERAIS DOS AÇORES: HIDROGEOLOGIA E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL SOCIOECONÓMICO

DISSERTAÇÃO DE DOUTORAMENTO NO RAMO DE GEOLOGIA
ESPECIALIDADE DE HIDROGEOLOGIA

ORIENTADORES:
PROF. DOUTOR JOSÉ VIRGÍLIO DE MATOS FIGUEIRA CRUZ
PROF. DOUTOR RUI MOREIRA DA SILVA COUTINHO
PROF. DOUTOR JOSÉ ANTÓNIO CABRAL VIEIRA

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

UNIVERSIDADE DOS AÇORES

2013

Aos meus pais

Ana Rita Martins Sanches

Luísa T. A. da Costa Gomes

Roger Teixeira Lopes

ÍNDICE

ÍNDICE I
ÍNDICE DE FIGURAS XI
ÍNDICE DE TABELAS XXV
AGRADECIMENTOS XXXI
RESUMO XXXIII
ABSTRACT XXXV

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Enquadramento e Objectivos 1
1.2. Organização da Dissertação 3

2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO 6
2.1. Enquadramento Geográfico 6
2.2. Enquadramento Geodinâmico 6
2.3. Actividade Sísmica 8
2.4. Actividade Vulcânica Histórica 10
2.5. Caracterização Geoquímica 11
2.6. Caracterização Geológica 13
2.6.1. Caracterização Geológica da Ilha de São Miguel 14
2.6.1.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 14
2.6.1.2. Geologia 19
2.6.2. Caracterização Geológica da Ilha Terceira 25
2.6.2.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 25
2.6.2.2. Geologia 27
2.6.3. Caracterização Geológica da Ilha Graciosa 29
2.6.3.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 29
2.6.3.2. Geologia 31
2.6.4. Caracterização Geológica da Ilha do Faial 33
2.6.4.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 33
2.6.4.2. Geologia 37
2.6.5. Caracterização Geológica da Ilha de São Jorge 40
2.6.5.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 40

2.6.5.2. Geologia 42
2.6.6. Caracterização Geológica da Ilha do Pico 43
2.6.6.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 43
2.6.6.2. Geologia 46
2.6.7. Caracterização Geológica da Ilha das Flores 48
2.6.7.1. Modelado Vulcânico e Tectónica 48
2.6.7.2. Geologia 50

3. HIDROGEOLOGIA DOS AÇORES 52
3.1. Enquadramento Regional 52
3.1.1. Enquadramento Hidrogeológico 52
3.1.2. Enquadramento Hidrodinâmico 53
3.1.3. Caracterização Hidrogeoquímica 56
3.2. Hidrogeologia da Ilha de São Miguel 58
3.2.1. Caracterização Hidrodinâmica 58
3.2.2. Caracterização das Massas de Água 62
3.2.3. Recursos Hídricos Disponíveis 67
3.2.4. Áreas de Recarga 67
3.2.5. Hidrogeoquímica 70
3.2.6. Vulnerabilidade à Poluição 72
3.3. Hidrogeologia da Ilha Terceira 75
3.3.1. Caracterização Hidrodinâmica 75
3.3.2. Caracterização das Massas de Água 79
3.3.3. Recursos Hídricos Disponíveis 85
3.3.4. Áreas de Recarga 85
3.3.5. Hidrogeoquímica 88
3.3.6. Vulnerabilidade à Poluição 91
3.4. Hidrogeologia da Ilha Graciosa 93
3.4.1. Caracterização Hidrodinâmica 93
3.4.2. Caracterização das Massas de Água 95
3.4.3. Recursos Hídricos Disponíveis 101
3.4.4. Áreas de Recarga 101
3.4.5. Hidrogeoquímica 103
3.4.6. Vulnerabilidade à Poluição 105
3.5. Hidrogeologia da Ilha do Faial 107
3.5.1. Caracterização Hidrodinâmica 107
3.5.2. Caracterização das Massas de Água 109

3.5.3. Recursos Hídricos Disponíveis 115
3.5.4. Áreas de Recarga 115
3.5.5. Hidrogeoquímica 118
3.5.6. Vulnerabilidade à Poluição 120
3.6. Hidrogeologia da Ilha de São Jorge 123
3.6.1. Caracterização Hidrodinâmica 123
3.6.2. Caracterização das Massas de Água 125
3.6.3. Recursos Hídricos Disponíveis 129
3.6.4. Áreas de Recarga 129
3.6.5. Hidrogeoquímica 131
3.6.6. Vulnerabilidade à Poluição 133
3.7. Hidrogeologia da Ilha do Pico 136
3.7.1. Caracterização Hidrodinâmica 136
3.7.2. Caracterização das Massas de Água 139
3.7.3. Recursos Hídricos Disponíveis 143
3.7.4. Áreas de Recarga 143
3.7.5. Hidrogeoquímica 146
3.7.6. Vulnerabilidade à Poluição 148
3.8. Hidrogeologia da Ilha das Flores 151
3.8.1. Distribuição dos Pontos de Água 151
3.8.2. Caracterização das Massas de Água 153
3.8.3. Recursos Hídricos Disponíveis 156
3.8.4. Áreas de Recarga 156
3.8.5. Hidrogeoquímica 158
3.8.6. Vulnerabilidade à Poluição 160

4. ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES 162
4.1. Distribuição dos Pontos de Água MIneral 162
4.2. Águas Minerais na Ilha de São Miguel 163
4.2.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 163
4.2.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 164
4.2.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 165
4.3. Águas Minerais na Ilha Terceira 169
4.3.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 169
4.3.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 170
4.3.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 171
4.4. Águas Minerais na Ilha Graciosa 174

4.4.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 174
4.4.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 175
4.4.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 176
4.5. Águas Minerais na Ilha do Faial 180
4.5.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 180
4.5.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 181
4.5.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 182
4.6. Águas Minerais na Ilha de São Jorge 185
4.6.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 185
4.6.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 186
4.6.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 187
4.7. Águas Minerais na Ilha do Pico 191
4.7.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 191
4.7.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 192
4.7.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 193
4.8. Águas Minerais na Ilha das Flores 197
4.8.1. Distribuição Geográfica e Administrativa 197
4.8.2. Distribuição Contexto Vulcanológico 198
4.8.3. Distribuição Contexto Hidrogeológico 199

5. METODOLOGIA DA CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA 204
5.1. Introdução 204
5.2. Amostragem e Métodos de Análise 204
5.3. Cromatografia Iónica 206
5.3.1. Introdução 206
5.3.2. Resinas Permutadoras 206
5.3.3. Detectores 208
5.3.4. Unidade Supressora ou Supressor 208
5.3.5. O Aparelho DYONEX ICS-1000 209
5.3.6. Modo de Proceder 214
5.3.6.1. Preparar o Eluente 214
5.3.6.2. Preparar as Soluções Padrão (Padrões) P1, P2, P3, P4 e P5 215
5.3.6.3. Hidratar o Supressor 216
5.3.6.4. Fazer as Ligações do Aparelho de Acordo com o Esquema da Figura 5.4 217
5.3.6.5. Ligar o Aparelho Através do Botão Exterior 217

5.3.6.6. Ligar o Gás (N_2) e Esperar a Estabilização da Pressão Entre 6-9 psi 217
5.3.6.7. Introduzir o Software 217
5.3.6.8. Fazer Purga, Retirando as Bolhas de Ar do Fluxo 217
5.3.6.9. Ligar a Bomba (PUMP SETTING) e Aumentar o Caudal do Eluente de 0,1 mL/min a 0,5 mL/min Até a Pressão Estabilizar 217
5.3.6.10. Ligar Supressor 217
5.3.6.11. Abrir DETECTOR SETTING; Ler e Verificar os Dados do Painel. Esperar Estabilização da Condutância Entre 24-28 µS 217
5.3.6.12. Clicar em SEQUENCE CONTROL e Seguidamente em ACQ (ACQUISITION) ON para Verificar a Estabilidade do Sinal. Quando o Sinal Estiver Estabilizado Clicar em ACQ OFF. 218
5.3.6.13. Obter as Rectas de Calibração. 218
5.3.6.14. Verificar as Rectas de Calibração dos Padrões (P1, P2, P3, P4, P5) 219
5.3.6.15. Introduzir a Lista das Amostras a Analisar 219
5.3.6.16. Determinar as Concentrações Aniónicas de F^-, Br^-, Cl^-, NO_3^- e SO_4^{2-} 220
5.3.6.17. Desligar o Aparelho DYONEX 220
5.4. Espectroscopia de Absorção Atómica-Método da Chama 221
5.4.1. Introdução 221
5.4.2. Aparelhos de Absorção Atómica 222
5.4.3. Interferências 224
5.4.3.1. Interferências Espectrais 224
5.4.3.2. Interferências Químicas 226
5.4.4. Optimização das Técnicas 227
5.4.5. Recta de Calibração 227
5.4.6. Modo de Proceder 228
5.4.6.1. Preparar Soluções Padrão (Padrões) P1, P2, P3, P4 e P5 do Elemento Escolhido (Na, K, Mg, Ca e Si) 228
5.4.6.2. Preparar Solução Para Ensaio Em Branco 229
5.4.6.3. Ligar Aparelho GBC 906 AA. 230
5.4.6.4. Ligar Computador. 230
5.4.6.5. Seleccionar o Elemento na T.P 230
5.4.6.6. Clicar Instrument. 230
5.4.6.7. Clicar Measurement - Integration 231
5.4.6.8. Clicar Calibration. 232

5.4.6.9. Clicar Standards 232
5.4.6.10. Verificar a Gama de Concentrações Adequadas 233
5.4.6.11. Verificar o Tipo de Chama e os Caudais (L/min) do Comburente e do Combustível 234
5.4.6.12. Clicar Samples 235
5.4.6.13. Clicar Analysis (Pré-Programado) 235
5.4.6.14. Acertar a Direcção do Feixe de Luz 236
5.4.6.15. Clicar Instrument 236
5.4.6.16. Verificar as Pressões dos Gases 238
5.4.6.17. Ligar a Chama 238
5.4.6.18. Clicar Results 238
5.4.6.19. Relatório Final 239
5.4.6.20. Desligar Aparelho 239

6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES, DE TRÁS-OS-MONTES E DA GALIZA 240

6.1. Parâmetros Físico-Químicos 243
6.1.1. Ilha de São Miguel 243
6.1.2. Ilha Terceira 246
6.1.3. Ilha Graciosa 249
6.1.4. Ilha do Faial 251
6.1.5. Ilha de São Jorge 253
6.1.6. Ilha do Pico 254
6.1.7. Ilha das Flores 255
6.2. Elementos Maiores: Catiões 257
6.2.1. Ilha de São Miguel 257
6.2.2. Ilha Terceira 260
6.2.3. Ilha Graciosa 262
6.2.4. Ilha do Faial 263
6.2.5. Ilha de São Jorge 265
6.2.6. Ilha do Pico 266
6.2.7. Ilha das Flores 267
6.3. Elementos Maiores: Aniões 267
6.3.1. Ilha de São Miguel 268
6.3.2. Ilha Terceira 270
6.3.3. Ilha Graciosa 273
6.3.4. Ilha do Faial 275

6.3.5. Ilha de São Jorge 276
6.3.6. Ilha do Pico 277
6.3.7. Ilha das Flores 278
6.4. Elementos Menores e em Traço 279
6.4.1. Ilha de São Miguel 279
6.4.2. Ilha Terceira 288
6.4.3. Ilha Graciosa 294
6.4.4. Ilha do Faial 300
6.4.5. Ilha de São Jorge 303
6.4.6. Ilha do Pico 306
6.4.7. Ilha das Flores 308
6.5. Sílica (SiO_2) 311
6.5.1. Ilha de São Miguel 311
6.5.2. Ilha Terceira 311
6.5.3. Ilha Graciosa 312
6.5.4. Ilha do Faial 312
6.5.5. Ilha de São Jorge 313
6.5.6. Ilha do Pico 313
6.5.7. Ilha das Flores 314
6.6. Fácies Hidrogeoquímica das Águas Minerais dos Açores 314
6.6.1. Ilha de São Miguel 315
6.6.1.1. Massa de Água Furnas – Povoação 316
6.6.1.2. Massa de Água, Água de Pau 319
6.6.1.3. Massa de Água Sete Cidades 320
6.6.2. Ilha Terceira 322
6.6.3. Ilha Graciosa 323
6.6.4. Ilha do Faial 324
6.6.5. Ilha de São Jorge 326
6.6.6. Ilha do Pico 327
6.6.7. Ilha das Flores 328
6.7. Índices de Saturação 330
6.8. Processos Hidrogeoquímicos 341
6.8.1. Publicação Científica - Mineral Water Occurrence and Geochemistry in the Azores Archipelago (Portugal): Insight from an Extended Database on Water Chemistry 363
6.9. Águas Minerais ao Longo da Zona de Falha Penacova - Régua -Verín, Troço de Chaves – Verín 388

6.10. Distribuição dos Pontos de Água Mineral 389
6.10.1. Pólo Hidromineral de Chaves 390
6.10.1.1. Enquadramento Geomorfológico 390
6.10.1.2. Enquadramento Geológico 391
6.10.2. Pólo Hidromineral de Vilarelho da Raia 392
6.10.2.1. Enquadramento Geomorfológico 392
6.10.2.2. Enquadramento Geológico 392
6.10.3. Pólo Hidromineral de Verín 393
6.10.3.1. Enquadramento Geomorfológico 393
6.10.3.2. Enquadramento Geológico 393
6.10.4. Caracterização Hidrogeoquímica de Águas Minerais ao Longo da Zona de Falha Penacova - Régua - Verín, Troço de Chaves - Verín 394
6.10.4.1. Parâmetros Físico-Químicos 394
6.10.4.2. Elementos Maiores: Catiões 396
6.10.4.3. Elementos Maiores: Aniões 398
6.10.4.4. Elementos Menores e em Traço 400
6.10.4.5. Sílica (SiO_2) 406
6.11. Fácies Hidrogeoquímica das Águas Minerais de Trás-os-Montes e Galiza 407
6.12. Caracterização Hidrogeoquímica Comparativa das Águas Minerais do Arquipélago dos Açores e as Águas Minerais de Trás-os-Montes e Galiza 408

7. DETERMINAÇÃO DE FLUXOS ELEMENTARES NO ESCOAMENTO DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEO 413
7.1. Publicação Científica - Fluvial Geochemistry in São Miguel Island (Azores, Portugal): Source and Fluxes of Inorganic Solutes in an Active Volcanic Environment 413
7.2. Publicação Científica - Spring Geochemistry in an Active Volcanic Environment (São Miguel, Azores): Source And Fluxes of Inorganic Solutes 444

8. IMPORTÂNCIA SOCIOECONÓMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES 480
8.1. Alguns Dados Históricos 480
8.2. Utilização Termal, Recreativa e Turística 481
8.3. Utilização Industrial 483
8.3.1. Engarrafamento de Água Mineral 483
8.3.2. Indústria Dermocosmética 483
8.3.3. Utilização Geotérmica 484
8.4. Perspectiva e Utlizações das Águas Minerais dos Açores 484

8.4.1. Introdução: Notas Históricas 484
8.4.2. Balneoterapia 491
8.4.3. Indústria de Engarrafamento de Águas Minerais 494
8.4.4. Peloterapia 497
8.4.5. Monitorização Hidrogeoquímica 497
8.4.6. Geotermia - Produção de Energia Eléctrica 498
8.5. O Potencial Socioeconómico das Águas Minerais dos Açores 500

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS 503

10. BIBLIOGRAFIA 515

ANEXO – A

Anexo I – Inventário dos Pontos de Águas Minerais no Arquipélago dos Açores, de Trás-os-montes e Galiza (Localização Geográfica) A1
Anexo II – Inventário dos Pontos de Águas Minerais no Arquipélago dos Açores (Contexto Vulcanológico) A8
Anexo III – Inventário dos Pontos de Águas Minerais no Arquipélago dos Açores (Contexto Hidrogeológico) A14
Anexo IV - Base de Dados Hidrogeoquímica: Elementos Maiores e Outros Constituintes A20
Anexo V – Base de Dados Hidrogeoquímica: Elementos Menores e em Traço A26
Anexo VI – Índices de Saturação Relativos às Fases Minerais Investigadas pelo Programa Phreeqc Interactive A33

ANEXO B - BASE HYDROVULC 2012 RESTRITA (FORMATO DIGITAL)

ANEXO C - MAPAS DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES (FORMATO DIGITAL)

Anexo I – Distribuição Espacial da Temperatura dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo II – Distribuição Espacial do pH dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo III – Distribuição Espacial da Condutividade dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo IV – Distribuição Espacial da Concentração de CO_2 Livre dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo V – Distribuição Espacial da Concentração de Sódio dos Pontos de Águas Minerais dos Açores

Anexo VI – Distribuição Espacial da Concentração de Potássio dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo VII – Distribuição Espacial da Concentração de Cálcio dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo VIII – Distribuição Espacial da Concentração de Magnésio dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo IX – Distribuição Espacial da Concentração de Bicarbonato dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo X – Distribuição Espacial da Concentração de Cloreto dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo XI – Distribuição Espacial da Concentração de Sulfato dos Pontos de Águas Minerais dos Açores
Anexo XII – Distribuição Espacial da Concentração de Sílica dos Pontos de Águas Minerais dos Açores

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 **6**
Localização geográfica do arquipélago dos Açores (adaptado de Costa, 2006).

Figura 2.2 **7**
Plataforma dos Açores (adaptado de Needham e Francheteau, 1974).

Figura 2.3 **7**
Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA – Crista Médio-Atlântica; EAFZ – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – Rift da Terceira; FG – Falha da Glória (Retirado de Pacheco *et al.,* 2013).

Figura 2.4 **9**
Carta epicentral dos eventos registados no arquipélago dos Açores entre 1980 e Junho de 2006 (dados do SIVISA, 2006).

Figura 2.5 **10**
Localização dos principais sismos históricos na região dos Açores (dados de Silveira, 2002, Silva, 2005).

Figura 2.6 **11**
Actividade vulcânica histórica no arquipélago dos Açores, (modificado de Weston, 1964, com dados de Queiroz *et al.,* 1995, Queiroz, 1997 e Gaspar *et al*. 2003).

Figura 2.7 **15**
Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel definidas por Zbyzewski *et al.* (1961 in Ferreira, 2000).

Figura 2.8 **17**
Principais estruturas vulcânicas da ilha de S. Miguel (dados de Gaspar *et al*., 1990; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo et al., 2009).

Figura 2.9 **18**
Principais estruturas tectónicas da ilha de S. Miguel (dados de Gaspar *et al*., 1990; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo, 2004 e Carmo *et al*., 2009).

Figura 2.10 **19**
Modelo digital de terreno da ilha de S. Miguel com as unidades vulcanológicas: 1 – Vulcão das Sete Cidades; 2 – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 – Vulcão do Fogo; 4 – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 – Vulcão das Furnas; 6 – Vulcão da Povoação; 7 - Sistema Vulcânico do Nordeste. (Moore, 1991b in Pacheco *et al.,* 2013).

Figura 2.11 **25**
Modelo digital de terreno da ilha Terceira, onde se destacam seis regiões geomorfológicas. 1 – Vulcão dos Cincos Picos; 2 – Vulcão Guilherme Moniz; 3 – Vulcão do Pico Alto; 4 – Vulcão de Santa Bárbara; 5 – Zona Fissural, com destaque para o Sistema Vulcânico Fissural; 6 – Graben das Lajes. Coordenadas U.T.M., zona 26S (adaptado de Queiroz *et al.,* 2001 com dados de Self, 1974, 1976, *in* Pimentel, 2006).

Figura 2.12 **27**
Esboço vulcano-tectónico da ilha Terceira: 1 – Graben das Lajes; A – Falha das Lajes; B – Falha das Fontinhas; 2 – Graben de Santa Bárbara. Coordenadas U.T.M., zona 26S (adaptado de Queiroz *et al.,* 2001 e Madeira, 2005).

Figura 2.13 **30**
Modelo digital de terreno da ilha Graciosa, com indicação das quatro unidades geomorfológicas da ilha: 1 - Plataforma NW, 2 - Serra das Fontes, 3 - Maciço Centro-meridional e 4 - Maciço da Caldeira.

Figura 2.14 **31**
Esboço vulcano-tectónico da ilha Graciosa (Gaspar, 1995 & 1996).

Figura 2.15 **33**
Carta geológica da ilha Graciosa (Gaspar, 1996).

Figura 2.16 **34**
Modelo tridimensional da ilha do Faial, onde se distinguem, esquematicamente, quatro regiões geomorfológicas: o Vulcão Central, o Graben de Pedro Miguel, a Plataforma da Horta e a Península do Capelo (Madeira, 1998).

Figura 2.17 **36**
Localização dos diversos centros eruptivos e principais estruturas tectónicas presentes na ilha do Faial (tectónica modificada de Madeira (1998). de Queiroz *et al.*, 1995, Queiroz, 1997 e Gaspar *et al.* 2003).

Figura 2.18 **37**
Esquema evolutivo das fases de formação da ilha do Faial (Pacheco, 2001). a) fase de actividade submarina e emergente do Vulcão da Ribeirinha; b) desenvolvimento do edifício do Vulcão da Ribeirinha; c) fase de actividade submarina e/ou emergente do Vulcão Central da Caldeira; d) desenvolvimento do edifício do Vulcão Central da Caldeira; e) instalação da Plataforma da Horta; e f) instalação da Península do Capelo.

Figura 2.19 **38**
Carta geológica da ilha do Faial (Serralheiro *et al.*, 1989).

Figura 2.20 **39**
Escala vulcanoestratigráfica da ilha do Faial (Pacheco, 2001).

Figura 2.21 **41**
Modelo digital de terreno da ilha de São Jorge, com indicação das duas unidades geomorfológicas. 1 – Região Ocidental; 2 – Região Ocidental.

Figura 2.22 **42**
Principais estruturas vulcano-tectónicas da ilha de S. Jorge (adaptado de Madeira, 1998).

Figura 2.23 **43**
Carta geológica da ilha de São Jorge (adaptado de Madeira, 1998).

Figura 2.24 **44**
Modelo digital de terreno da ilha do Pico, com indicação das três unidades geomorfológicas: 1 – Montanha do Pico; 2 – Planalto da Achada; e 3 – Vulcão do Topo.

Figura 2.25 **46**
Principais estruturas vulcano-tectónicas da ilha do Pico (adaptado de Madeira, 1998 & Nunes *et al.*, 1999).

Figura 2.26 **47**
Carta Vulcanológica e ampliação da vulcanoestratigrafia da ilha do Pico (Nunes *et al.*, 1999).

Figura 2.27 **49**
Esboço vulcano-tectónico da ilha das Flores (adaptado de Azevedo, 1999; Gaspar *et al.*, 1999).

Figura 2.28 **51**
Carta geológica da ilha das Flores (Azevedo, 1998).

Figura 3.1 **53**
Densidade associada à distribuição de pontos de água por ilha (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.2 **54**
Diagrama de caixas (*box plot*) relativo aos valores de caudal específico nos Açores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.3 **55**
Diagrama de caixas (*box plot*) relativo aos valores de transmissividade nos Açores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.4 **57**
Diagrama de Piper relativo à composição química da água captada em nascentes nos Açores (Cruz, 2004).

Figura 3.5 **58**
Diagrama de Piper relativo à composição química da água captada em furos nos Açores (Cruz, 2004).

Figura 3.6 **60**
Distribuição de pontos de água na ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.7 **66**
Massas de água da ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.8 **69**
Zonas preferênciaisde recarga de água subterrânea ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.9 **72**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha de São Miguel (Cruz, 2004).

Figura 3.10 **74**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.11 **76**
Distribuição de pontos de água na ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.12 **84**
Massas de água da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.13 **87**
Zonas preferênciaisde recarga de água subterrânea ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.14 **90**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha Terceira (Cruz, 2004).

Figura 3.15 **92**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.16 **94**
Distribuição de pontos de água na ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.17 **100**
Massas de água da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.18 **102**
Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.19 **104**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha Graciosa (Cruz, 2004).

Figura 3.20 **106**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.21 **108**
Distribuição de pontos de água na ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.22 **114**
Massas de água da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.23 **117**
Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.24 **120**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha do Faial (Cruz, 2004).

Figura 3.25 **122**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.26 **124**
Distribuição de pontos de água na ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.27 **128**
Massas de água da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.28 **130**
Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.29 **133**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha de São Jorge (Cruz, 2004).

Figura 3.30 **135**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.31 **137**
Distribuição de pontos de água na ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.32 **142**
Massas de água da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.33 **145**
Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.34 **148**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha do Pico (Cruz, 2004).

Figura 3.35 **150**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.36 **152**
Distribuição de pontos de água na ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.37 **155**
Massas de água da ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.38 **157**
Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 3.39 **159**
Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes da ilha das Flores (Cruz, 2004).

Figura 3.40 **161**
Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

Figura 4.1 **163**
Distribuição relativa dos pontos de água mineral no arquipélago dos Açores.

Figura 4.2 **164**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

Figura 4.3 **165**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo os sistemas vulcânicos.

Figura 4.4 **166**
Massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Figura 4.5 **167**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Figura 4.6 **168**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.7 **169**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha São Miguel segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.8 **170**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira por concelho e freguesia.

Figura 4.9 **171**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.10 **171**
Massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Figura 4.11 **172**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Figura 4.12 **173**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.13 **174**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.14 **175**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa por concelho e freguesia.

Figura 4.15 **176**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.16 **177**
Massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Figura 4.17 **178**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Figura 4.18 **179**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.19 **180**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.20 **181**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial por concelho e freguesia.

Figura 4.21 **182**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.22 **182**
Massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Figura 4.23 **183**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Figura 4.24 **184**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.25 **185**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.26 **186**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge por concelho e freguesia.

Figura 4.27 **187**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.28 **188**
Massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Figura 4.29 **189**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Figura 4.30 **190**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.31 **191**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha São Jorge segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.32 **192**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico por concelho e freguesia.

Figura 4.33 **193**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.34 **194**
Massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Figura 4.35 **195**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Figura 4.36 **196**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.37 **197**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de aquífero.

Figura 4.38 **198**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores por concelho e freguesia.

Figura 4.39 **199**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo os complexos vulcânicos.

Figura 4.40 **200**
Massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Figura 4.41 **201**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Figura 4.42 **202**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de ocorrência.

Figura 4.43 **203**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de aquífero.

Figura 5.1 **210**
Esquema dos componentes essenciais do Dyonex ICS-1000.

Figura 5.2 **211**
Painel frontal do Dyonex ICS - 1000.

Figura 5.3 **211**
Painel de componentes do Dyonex ICS 1000.

Figura 5.4 **212**
Painel de componentes em pormenor do Dyonex ICS 1000.

Figura 5.5 **213**
Percurso da corrente de líquido através do Dyonex ICS -1000.

Figura 5.6 **214**
Preparação do eluente em balão de aferição de 2000 ml.

Figura 5.7 **216**
Hidratação do supressor modelo ASRS 300 - 4 mm.

Figura 5.8 **218**
Painel principal do software chromeleon utilizado no Dyonex ICS - 1000.

Figura 5.9 **219**
Painel “sequências” do software chromeleon utilizado no Dyonex ICS - 1000.

Figura 5.10 **220**
Formação de um cromotograma através do software chromeleon utilizado no Dyonex ICS - 1000.

Figura 5.11 **221**
Esquematização da absorção e emissão de radiação por um átomo.

Figura 5.12 **225**
Influência de k, na luz não absorvida pela amostra (luz perdida), no valor da absorvância vs concentração (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

Figura 5.13 **227**
Interferência da ionização na absorvância (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

Figura 5.14 **228**
Recta de calibração A=f(C) de uma amostra a (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

Figura 5.15 **228**
Padrões primários dos elementos químicos Na, K, Mg, Ca e Si.

Figura 5.16 **229**
Solução para ensaio em branco.

Figura 5.17 **230**
Painel Method – Description.

Figura 5.18 **231**
Painel Method – Instrument.

Figura 5.19 **231**
Painel Method – Measurement.

Figura 5.20 **232**
Painel Method – Calibration.

Figura 5.21 **233**
Painel Method – Standards.

Figura 5.22 **234**
Painel Method - Quality.

Figura 5.23 **234**
Painel Method - Flame.

Figura 5.24 **235**
Painel Samples.

Figura 5.25 **236**
Painel Analysis.

Figura 5.26 **237**
Painel Instrument.

Figura 5.27 **237**
Painel Status Panel - Gas Flows Optimisation.

Figura 5.28 **238**
Painel Results.

Figura 5.29 **239**
Painel - Report.

Figura 6.1 **315**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da Ilha de São Miguel.

Figura 6.2 **316**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da Ilha de São Miguel.

Figura 6.3 **317**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água Furnas – Povoação.

Figura 6.4 **318**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água Furnas - Povoação.

Figura 6.5 **319**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água, Água de Pau.

Figura 6.6 **320**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água, Água de Pau.

Figura 6.7 **321**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água das Sete Cidades.

Figura 6.8 **321**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água Sete Cidades.

Figura 6.9 **322**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha Terceira.

Figura 6.10 **323**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha Terceira.

Figura 6.11 **323**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha Graciosa.

Figura 6.12 **324**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha Graciosa.

Figura 6.13 **325**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha do Faial.

Figura 6.14 **325**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha do Faial.

Figura 6.15 **326**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha de São Jorge.

Figura 6.16 **327**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha de São Jorge.

Figura 6.17 **327**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha do Pico.

Figura 6.18 **328**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha do Pico.

Figura 6.19 **329**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha das Flores.

Figura 6.20 **329**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha das Flores.

Figura 6.21 **331**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao quartzo em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.22 **331**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à calcedónia em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.23 **332**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à silica amorfa em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.24 **333**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à calcite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.25 **333**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à dolomite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.26 **334**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à anortite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.27 **335**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à albite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.28 **336**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à mica potássica em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.29 **336**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao feldspato potássico em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.30 **338**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à caulinite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.31 **338**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à montemorilonite cálcica em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.32 **339**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à ilite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.33 **340**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao gesso em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.34 **340**
Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à fluorite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Figura 6.35 **342**
Relação entre a condutividade eléctrica.e o teor em cloreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.36 **343**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em cloreto nas águas minerais das massas de Água Furnas - Povoação e Água de Pau.

Figura 6.37 **344**
Relação entre a condutividade eléctrica.e o teor em cloreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.38 **345**
Relação entre as concentrações de sódio e cloreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.39 **345**
Relação entre as concentrações de sódio e cloreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.40 **347**
Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.41 **348**
Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.42 **350**
Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais relativas do arquipélago dos Açores.

Figura 6.43 **351**
Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.44 **352**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.45 **352**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais das massas de Água Furnas - Povoação e Água de Pau.

Figura 6.46 **353**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.47 **354**
Relação entre a condutividade eléctrica.e o teor em fluoreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.48 **355**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em fluoreto nas águas minerais das massas de Água Furnas - Povoação e Água de Pau.

Figura 6.49 **356**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em fluoreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.50 **357**
Relação entre a condutividade eléctrica.e o teor em sulfato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.51 **358**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sulfato nas águas minerais das massas de Água Furnas - Povoação e Água de Pau**.**

Figura 6.52 **358**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sulfato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.53 **359**
Relação entre as concentrações de cloreto e sulfato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.54 **360**
Relação entre as concentrações de e cloreto e sulfato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Figura 6.55 **361**
Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sódio, potássio, cálcio e magnésio nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Figura 6.56 **390**
Distribuição relativa dos pontos de água mineral da Zona de Falha Penacova - Régua - Verín, troço de Chaves - Verín.

Figura 6.57 **407**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

Figura 6.58 **408**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

Figura 6.59 **409**
Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais dos Açores e de Trás-os-Montes e Galiza.

Figura 6.60 **410**
Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais dos Açores e de Trás-os-Montes e Galiza.

Figura 8.1 **481**
Termas Romanas de Chaves.

Figura 8.2 **486**
Estampa "Caldeiras das Furnas "(retirado de Bullar, J. & Bullar, H. 1841).

Figura 8.3 **488**
Classificação geral das águas das Furnas segundo Charles Lepierre, (retirado de Lepierre, 1917).

Figura 8.4 **492**
Edifício Termal da Ferraria.

Figura 8.5 **493**
Termas do Carapacho.

Figura 8.6 **495**
Cartaz publicitário “Água das Lombadas” (Freire-Grav.,1904).

Figura 8.7 **496**
Garrafas de água "Serra do Trigo".

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 **61**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.2 **78**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.3 **95**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.4 **109**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.5 **125**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.6 **138**
Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 4.1 **162**
Distribuição dos pontos de água mineral por ilha e no arquipélago dos Açores**.**

Tabela 4.2 **163**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

Tabela 4.3 **165**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo os sistemas vulcânicos.

Tabela 4.4 **166**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Tabela 4.5 **167**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.6 **168**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.7 **169**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira por concelho e freguesia.

Tabela 4.8 **170**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.9 **172**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Tabela 4.10 **173**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.11 **173**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.12 **174**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa por concelho e freguesia.

Tabela 4.13 **175**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.14 **177**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Tabela 4.15 **178**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.16 **179**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.17 **180**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial por concelho e freguesia.

Tabela 4.18 **181**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.19 **183**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Tabela 4.20 **184**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.21 **184**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.22 **185**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge por concelho e freguesia.

Tabela 4.23 **186**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.24 **188**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Tabela 4.25 **189**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.26 **190**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.27 **191**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico por concelho e freguesia.

Tabela 4.28 **192**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.29 **194**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Tabela 4.30 **195**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.31 **196**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de aquífero.

Tabela 4.32 **197**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores por concelho e freguesia.

Tabela 4.33 **198**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo os complexos vulcânicos.

Tabela 4.34 **200**
Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Tabela 4.35 **201**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de ocorrência.

Tabela 4.36 **202**
Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de aquífero.

Tabela 5.1 **216**
Concentrações de cada espécie iónica expressas em mL, de solução intermédia de padrão primário.

Tabela 5.2 **229**
Concentrações dos padrões para o elemento Na.

Tabela 6.1 **246**
Parâmetros físico - químicos para a ilha de São Miguel: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.2 **248**
Parâmetros físico - químicos para a ilha Terceira: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.3 **251**
Parâmetros físico - químicos para a ilha Graciosa: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.4 **253**
Parâmetros físico - químicos para a ilha do Faial: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.5 **254**
Parâmetros físico - químicos para a ilha de São Jorge: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.6 **255**
Parâmetros físico - químicos para a ilha do Pico: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.7 **256**
Parâmetros físico - químicos para a ilha das Flores: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Tabela 6.8 **259**
Elementos maiores ilha de São Miguel: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.9 **261**
Elementos maiores ilha Terceira: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.10 **263**
Elementos maiores ilha Graciosa: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.11 **264**
Elementos maiores ilha do Faial: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.12 **265**
Elementos maiores ilha de São Jorge: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.13 **266**
Elementos maiores ilha do Pico: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio) .

Tabela 6.14 **267**
Elementos maiores ilha das Flores: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Tabela 6.15 **270**
Elementos maiores ilha de São Miguel: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.16 **272**
Elementos maiores ilha Terceira: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.17 **274**
Elementos maiores ilha Graciosa: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.18 **275**
Elementos maiores ilha do Faial: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.19 **277**
Elementos maiores ilha de São Jorge: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.20 **278**
Elementos maiores ilha do Pico: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.21 **279**
Elementos maiores ilha das Flores: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Tabela 6.22 **286**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha de S. Miguel: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.23 **292**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha Terceira: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.24 **299**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha Graciosa: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.25 **302**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha do Faial: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.26 **305**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha de São Jorge: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.27 **307**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha do Pico: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.28 **310**
Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha das Flores: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Tabela 6.29 **311**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha de São MIguel.

Tabela 6.30 **312**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha Terceira.

Tabela 6.31 **312**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha Graciosa.

Tabela 6.32 **313**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha do Faial.

Tabela 6.33 **313**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha de São Jorge.

Tabela 6.34 **313**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha do Pico.

Tabela 6.35 **314**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha das Flores.

Tabela 6.36 **396**
Parâmetros físico - químicos: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Tabela 6.37 **398**
Elementos maiores: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio) nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Tabela 6.38 **400**
Elementos maiores: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato) nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Tabela 6.39 **405**
Elementos menores e em traço nas águas minerais de Trás-os-Montes e da Galiza.: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio .

Tabela 6.40 **406**
Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

Tabela 8.1 **502**
Avaliação do potencial socioeconómico das águas minerais no arquipélago dos Açores

AGRADECIMENTOS

A publicação deste trabalho só foi possível com a coloboração de diversas pessoas e entidades. Manifesto aqui o meu reconhecimento e agradecimento de forma especial:

- ao anterior Reitor da Universidade dos Açores, Professor Doutor Avelino Meneses e ao actual Reitor da Unuversidade dos Açores, Professor Doutor Jorge Medeiros, pel autorização da realização do doutoramento em Hirogeologia;
- ao Fundo Regional da Ciência e Tecnologia a atribuição da bolsa de doutoramento a este projecto (M3.1.2/F/017/2008);
- aos anteriores Directores de Departamento, Professor Doutor José Pacheco e Professor Doutor Nicolau Wallenstein, e ao actual director Professor Doutor José Virgílio Cruz, pelas facilidades concedidas na concretização deste trabalho;
- à Doutora Gabriela Queiroz, actual Directora do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, pelas óptimas condições proporcionadas na realização desta dissertação;
- aos meus orientadores Professor Doutor José Virgílio Cruz, Professor Doutor Rui Moreira da Silva Coutinho e Professor Doutor José António Cabral Vieira pela sugestão do tema deste trabalho, pelos ensinamentos no dominío da hidrogeoquímica, pela sua disponibilidade, apesar dos seus afazeres profissionais, bem como pelas sugestões sobre o modo de organizar o presente documento;
- a todos os docentes pertencentes ao Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos
- aos meus colegas e amigos César Andrade e João Fontiela, pela sua pronta disponibilidade na discussão de ideias, sugestões, partilha de conhecimentos e colaboração na realização deste trabalho;

- ao funcionário e amigo Rui Mestre, que sempre me ajudou nas saídas de campo e na execução de diversas tarefas laboratoriais;
- aos funcionários do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, nomeadamente à Patrícia Raposo e à Crisálida Rego na resolução de diversos problemas de carácter burocrático; agradecia também, ao Ernesto Sousa, ao Vitor Sousa, ao José Medeiros e ao Rogério Sousa pela camaradagem;
- à Andrea Costa pela disponibilidade e sugestões apresentadas;
- às minhas colegas Fátima Viveiros, Catarina Silva e Rita Rodrigues pela sua colaboração;
- aos meus amigos Paulo Amado, Vítor Silva e Patricía Madeira pela sua amizade e encorajamento constante;
- aos meus pais, Manuel Carlos Gouveia Freire e Maria José Gomes Teles Grilo, pelo apoio incondicional, carinho e amor dados;

RESUMO

A origem vulcânica dos Açores explica a ocorrência de numerosas nascentes de águas minerais, predominantemente gasocarbónicas ou termais, que denotam uma elevada variabilidade de tipos químicos e de magnitude de mineralização, em particular na ilha de São Miguel, mas também nas ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial, Pico e Flores.

Não obstante a variabilidade hidrogeoquímica nos 116 pontos de água mineral referenciados, a predominância da fácies bicarbonatada sódica, associada a águas minerais gasocarbónicas e termais, é especificamente focada neste estudo, o qual engloba também a determinação de fluxos elementares subterrâneos transferidos para o escoamento de superfície, particularmente importante para a monitorização da actividade sismovulcânica.

A composição química dos recursos hidrominerais dos Açores foi comparada com a das 14 águas minerais tipologicamente similares, com origem num ambiente geologicamente diverso, localizadas na Zona de Falha Penacova - Régua - Verín, troço Chaves - Verín, o que permitiu evidenciar as especificidades das águas minerais dos Açores.

Para a concretização do objectivo principal referido inicialmente começou por se efectuar uma recolha exaustiva de elementos bibliográficos relativos às nascentes minerais dos Açores, mediante a consulta de acervos históricos e publicações mais recentes. Promoveu-se a compilação de todas as referências a fenómenos relacionados com a ocorrência de águas minerais dos Açores que incluíram dados geológicos, hidrogeológicos e analíticos e utilizou-se como ponto de partida a base de dados HYDROVULC (2005/2006). Seleccionaram-se também as emergências minerais de Trás-os-Montes e da Galiza para permitir efectuar um estudo comparativo com as águas minerais dos Açores.

A realização de amostragem e análises periódicas de águas minerais, de acordo com os métodos usualmente descritos na literatura científica, permitiu a actualização da base de dados HYDROVULC (2005/2006), acrescentando 4418 análises às 953 então compiladas, respeitantes às águas minerais dos Açores.

Elaboraram-se mapas temáticos para cada ilha do arquipélago dos Açores, relativos aos pontos de água mineral respectivos, para cada um dos parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade eléctrica e CO_2 livre), dos catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) e aniões principais (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-) e da SiO_2. Os valores que figuram em cada um dos mapas são os valores médios obtidos a partir das análises que se encontram na base de dados "Hydrovulc restrita 2000" , circunscritas, apenas, ao século XXI.

A determinação de fluxos elementares e de CO_2, foi efectuada em massas de água seleccionadas de acordo com a sua litologia dominante e posição relativamente aos centros vulcânicos activos (vulcão das Furnas e vulcão do Fogo), onde ocorrem águas minerais. Estes fluxos permitiram estimar a descarga de CO_2 e dos elementos dissolvidos e relacioná-los com a descarga associada às emergências de águas minerais existentes no leito ou margens dos cursos de água permanentes.

Os dados obtidos no decurso das análises efectuadas foram integrados e tratados com o objectivo de definir os principais processos hidrogeoquímicos e distinguir entre as variações sazonais ou as induzidas pelas actividades vulcânica e antropogénica. Elaborou-se um modelo hidrogeoquímico conceptual capaz de explicar a composição hidrogeoquímica de cada grupo de águas minerais.

A avaliação do potencial socioeconómico das ilhas do arquipélago dos Açores, relativamente às águas minerais baseou-se numa expressão matemática que tem em conta a ponderação de dois critérios, um de coeficiente igual a 0,2, ligado indirectamente às águas minerais, e outro de coeficiente igual a 0,8, relacionado directamente com a temática hidrogeológica. Os resultados permitiram confirmar que este potencial é mais relevante no caso da ilha de São Miguel.

ABSTRACT

The volcanic nature of the Azores explain the occurrence of numerous mineral water springs, mainly carbonated or thermal discharges, with diverse chemical water types and mineralization magnitude, namely in São Miguel islands, as well as in Terceira, Graciosa, São Jorge, Fail, Pico and Flores.

Despite the diverse water chemistry depicted by the 116 discharges that were identified, waters are mainly of the sodium bicarbonated water type, associated to carbonated and thermal springs, subject studied in the present thesis, as well as the quantification of elemental fluxes in groundwater to rivers, being both topics relevant toward volcanic surveillance.

The chemical composition of the hydromineral resources in the Azores was compared to the chemistry of 14 springs of similar chemical type, discharging in a diverse geological environment, namely in the area Chaves - Verín of the fault zone Penacova - Régua - Verín, which allow to address the specific character of the mineral waters in the archipelago.

In order to fulfill the main goal of the present dissertation the first task was a detailed survey of all references to mineral waters in the Azores, both historical documents and more recent publications. All geological, hydrogeological and analytical data on the occurrence of mineral waters were compiled, using the database HYDROVULC (2005/2006) as a starting point. The mineral springs in Trás-os-Montes to be sampled for the comparative study were also selected.

The sampling and analytical work that was developed, using methods described in the scientific literature, allow to add 4418 new analyses on the chemistry of the mineral waters in the Azores to the 953 references already stored in the data base HYDROVULC (2005/2006).

A set of specific hydrocheochemical maps was made for each island of the Azores, considering master variables (temperature, pH, electrical conductivity, dissolved CO_2), major-ion composition (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-) and SiO_2. These maps were prepared in the basis of the average values of the database "Hydrovulc restrita 2000", corresponding to a restriction to the original database, considering data gathered only in the present century.

The quantification of CO_2 and elemental fluxes was made on selected water bodies according their main lithology and position regarding the Furnas and Fogo volcanoes, where a large number of mineral water discharges are located. These fluxes allow estimating the fraction of mineral water in the main rivers on those volcanoes, with several discharges occurring in the margins.

All the water chemistry data was integrated and interpreted in order to identify the main hydrogeochemical processes, and to distinguish between seasonal variations as well as the fluctuations associated to volcanic or anthropogenic sources. A conceptual hydrogeochemical model was developed to explain the composition of the mineral waters in the Azores.

The assessment of the socioeconomic potential of the mineral water resources in the Azores was made according a mathematical expression, based on a set of criteria indirectly associated to the occurrence of mineral waters, and directly to the hydrogeological setting. Results have shown that the highest socioeconomic potential is estimated in the case of São Miguel island.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

A presente dissertação tem como principal objectivo o estudo e a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica actualizada das águas minerais dos Açores e a avaliação do potencial socioeconómico associado à exploração destes recursos, de forma a sustentar o relançamento desta importante actividade com reflexos nos sectores da saúde e do turismo.

A origem vulcânica dos Açores explica a ocorrência de numerosas emergências de águas minerais, com particular incidência na ilha de São Miguel, mas também existentes nas ilhas Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores. Embora haja uma grande variabilidade de tipos químicos e mineralização nos 116 pontos de água mineral referenciados para o arquipélago dos Açores, a predominância da fácies bicarbonatada sódica, associada a águas minerais gasocarbónicas e termais é especificamente focada neste estudo, o qual engloba também a determinação de fluxos elementares subterrâneos transferidos para o escoamento de superfície, particularmente importante para a monitorização da actividade sismovulcânica. A caracterização hidrogeoquímica dos recursos hidrominerais dos Açores foi comparada com a das 14 águas minerais tipologicamente similares, com origem num ambiente geologicamente diverso, localizadas na Zona de Falha Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.), troço Chaves - Verín, o que permitiu evidenciar as especificidades das águas minerais dos Açores.

Para a concretização do objectivo principal referido inicialmente começou por se efectuar uma recolha exaustiva de elementos bibliográficos relativos às nascentes minerais dos Açores, mediante a consulta de acervos históricos e publicações mais recentes. Promoveu-se a compilação de todas as referências a fenómenos relacionados com a ocorrência de águas minerais dos Açores que incluíram dados geológicos, hidrogeológicos e analíticos e utilizou-se como ponto de partida a base de dados HYDROVULC (2005/2006). Seleccionaram-se também as emergências minerais de Trás-os-Montes e da Galiza para posterior estudo hidrogeológico comparativo com as águas minerais dos Açores.

Procedeu-se então ao enquadramento geológico e hidrogeológico das emergências minerais dos Açores, localizando-as pormenorizadamente. O enquadramento geológico envolveu a caracterização vulcanológica, a litologia das massas de água, a respectiva posição estratigráfica e a tectónica. O enquadramento hidrogeológico incluiu as caracterizações hidrodinâmica (parâmetros hidráulicos), das

massas de água e tipologia dos aquíferos, bem como os recursos hídricos disponíveis, áreas de recarga, hidrogeoquímica e vulnerabilidade à poluição das nascentes captadas.

Seguidamente efectuou-se a realização de amostragem e análises periódicas de águas minerais, de acordo com os métodos usualmente descritos na literatura científica, recorrendo em particular à cromatografia iónica (determinação de aniões) e à espectroscopia de absorção atómica-método da chama (determinação de catiões), de forma a caracterizar a gama de flutuação natural das respectivas composições químicas e a contribuição vulcânica ou antropogénica. O conjunto de dados obtidos permitiu a actualização da base de dados HYDROVULC (2005/2006), acrescentando 4418 análises às 953 já existentes, respeitantes às águas minerais dos Açores, o que possibilitou estudar a origem da composição das águas minerais. A realização de amostragens e análises periódicas de acordo com o referido anteriormente estendeu-se igualmente às emergências minerais seleccionadas em Trás-os-Montes e Galiza a fim de obter dados a comparar com os resultados obtidos nos Açores.

Passou-se então à determinação de fluxos elementares, em especial de C e S, nos cursos de água permanentes, em bacias hidrográficas, seleccionadas de acordo com a sua litologia dominante e posição relativamente aos centros vulcânicos activos (vulcão das Furnas e vulcão do Fogo), onde ocorrem águas minerais. Estes fluxos vão permitir estimar a descarga de CO_2 e de SO_4^{2-} dos vulcões activos e relacioná-los com a descarga associada às emergências de águas minerais existentes no leito ou margens dos cursos de água permanentes.

Os dados obtidos, no decurso das análises efectuadas, foram integrados e tratados com o objectivo de definir os principais processos hidrogeoquímicos e distinguir entre as variações sazonais ou as induzidas pelas actividades vulcânica e antropogénica.

Determinaram-se também fluxos elementares associados às descargas de águas minerais, o transporte de massa para o mar pelo escoamento de superfície e a linha de base da composição das águas estudadas, importante para a monitorização sismovulcânica.

Utilizou-se o software PHREEQC para modelar o efeito das variações dos contributos vulcânico e antropogénico na composição das águas minerais, o que envolveu a preparação dos dados de entrada nos modelos seleccionados e simulações computacionais com o modelo PHREEQC.

Por último tratou-se da importância sócio-económica das águas minerais dos Açores, referindo as utilizações gerais ligadas às águas minerais, concretizando depois, historicamente, as utilizações das águas minerais no arquipélago dos Açores. A avaliação do potencial económico destes recursos hídricos tem em conta uma tabela, construída expressamente para o efeito.

1.2 | ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é constituída por 10 capítulos e pretende responder aos objectivos definidos em 1.1. Assim após a introdução (capítulo um) segue-se o capítulo dois onde é feita a caracterização geral da área de estudo, relativa ao arquipélago dos Açores, sendo apresentados os enquadramentos geográfico e geodinâmico, as actividades sísmica e vulcânica histórica e as caracterizações geoquímica e geológica. Seguem-se caracterizações geológicas mais detalhadas que envolvem modelado vulcânico, tectónica e geologia, para cada uma das ilhas em estudo, onde existem emergências de águas minerais, nomeadamente, São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores.

No capítulo três é apresentada a hidrogeologia geral dos Açores que compreende os enquadramentos hidrológico, hidrodinâmico e a caracterização hidrogeoquímica. À hidrogeologia geral dos Açores segue-se o estudo pormenorizado da hidrogeologia de cada uma das ilhas referidas anteriormente (São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores) que engloba a caracterização hidrodinâmica, a delimitação e caracterização das massas de água, os recursos hídricos subterrâneos disponíveis, as áreas de recarga, a hidrogeoquímica e a vulnerabilidade à poluição.

O capítulo quatro trata das águas minerais no arquipélago dos Açores, onde foram localizados e inventariados 116 pontos de águas minerais distribuídos geograficamente por sete ilhas, nomeadamente São Miguel (85 pontos), Terceira (9 pontos), Graciosa (9 pontos), Faial (3 pontos), São Jorge (6 pontos), Pico (2 pontos) e Flores (2 pontos). A distribuição dos pontos de água mineral foi detalhadamente efectuada, em cada uma das ilhas supracitadas, atendendo a critérios, administrativo (concelho e freguesia), vulcanológico (Sistemas Vulcânicos) e hidrogeológico (massas e água subterrânea).

No capítulo cinco é desenvolvida a metodologia onde assenta a caracterização hidrogeoquímica das águas minerais. Esta metodologia envolve amostragem e métodos de análise “in situ” e no laboratório, nomeadamente a determinação dos

elementos maiores, aniões, por cromatografia iónica e dos elementos maiores, catiões por espectroscopia de absorção atómica-método da chama, sendo apresentada uma breve introdução teórica aos métodos de análise química referidos anteriormente e uma descrição sucinta dos aparelhos utilizados, respectivamente DYONEX ICS-1000 e GBA 906 AA, completadas com um detalhado "modo de proceder" relativo a cada um dos processos analíticos.

O capítulo seis ocupa-se da caracterização hidrogeoquímica das águas minerais. A caracterização hidrogeoquímica abrange a determinação dos parâmetros físico-químicos (temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre), dos elementos maiores, catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}), dos elementos maiores, aniões (SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-, F^- e NO_3^-), dos elementos menores e em traço (Br, Li, Sr, Mn, Fe, Ba, Zn, Cu, Ni, Pb, Co, Cr, Al, As, Cd, Se e Hg) e da sílica (SiO_2), e o tratamento estatístico, por ilha (São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores) e por massa de água, em cada ilha, compilado em tabelas, nomeadamente da 6.1 à 6.35.

Estão elaborados, em anexo, mapas temáticos, por ilha e para cada um dos parâmetros físico-químicos, dos elementos maiores (catiões e aniões) e da sílica, relativos aos pontos de água mineral respectivos, identificados por um número (1 a 116).

As fácies hidrogeoquímicas das águas minerais, utilizando diagramas de Piper e de Schoeller, estão organizadas por ilha, nomeadamente de São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores. Devido ao elevado número (85) de emergências minerais na ilha de São Miguel, as fácies hidrogeoquímicas obtidas estão distribuídas por massa de água, respectivamente, Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades.

Estão determinados e integrados em gráficos, por ilha, os logaritmos dos índices de saturação (log IS) dos pontos de água mineral dos Açores, relativamente aos minerais de sílica (quartzo, calcedónia e sílica amorfa), aos principais minerais carbonatados (calcite e dolomite), a alguns silicatos (anortite, albite, mica potássica, feldespato potássico, montemorilite cálcica e ilite), ao gesso e à fluorite. A determinação dos logarítmos dos índices de saturação foi feita, recorrendo ao programa Phreeqc Interactive.

Os dados hidrogeoquímicos relativos aos pontos de água mineral das ilhas de São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores, decorrentes das campanhas de campo de 2009/2010, integrados na base de dados HYDROVULC

tornam possível a interpretação dos principais processos hidrogeoquímicos modificadores da composição química das águas minerais, confirmando a sua subdivisão em quatro Grupos, proposta por Cruz e França em 2006.

As 14 águas minerais referenciadas, ao longo da Zona de Falha Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.), troço de Chaves - Verín, estão distribuídas geograficamente por Trás-os-Montes e Galiza e por Pólos Hidrominerais, respectivamente de Chaves e Vilarelho da Raia (Trás-os-Montes) e de Verín (Galiza); estes pólos hidrominerais estão enquadrados sob os pontos de vista, geomorfológico e geológico. A caracterização hidrogeoquímica destas águas minerais envolve, tal como foi referido anteriormente, a respeito dos pontos de água mineral dos Açores, a determinação dos parâmetros físico-químicos, dos elementos maiores (aniões e catiões), dos elementos menores e da sílica; todos os dados estão tratados estatisticamente e compilados em tabelas, respectivamente de 6.36 a 6.40. As fácies hidrogeoquímicas das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza estão determinadas, segundo os diagramas de Piper e de Schoeller.

A caracterização hidrogeoquímica comparativa das águas minerais do arquipélago dos Açores e das águas minerais de Trás-os-Montes finaliza este extenso capítulo seis.

O capítulo sete trata da determinação de fluxos elementares no escoamento de superfície e subterrâneo.

O capítulo oito ocupa-se da importância socioeconómica das águas minerais dos Açores. Uma introdução, contendo alguns dados históricos e as utilizações gerais das águas minerais, nomeadamente, o termalismo terapêutico/turismo termal, a peloterapia, as indústrias, do engarrafamento de águas, da dermocosmética e da geotermia, contextualiza as utilizações das águas minerais nos Açores, numa visão histórica. A avaliação do potencial sócioeconómico das águas minerais dos Açores e a perspectiva de um melhor aproveitamento destes recursos naturais completam este capítulo.

O capítulo nove ocupa-se das considerações finais acerca deste trabalho.

O capítulo dez trata da bibliografia consultada e utilizada ao longo desta dissertação.

2 | CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 | ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, entre as latitudes 36º 45' e 39º 43' N e as longitudes 24º 45' e 31º 17' W, e é constituído por nove ilhas, agrupadas em três grupos. O grupo Ocidental é formado pelas ilhas das Flores e Corvo situadas mais a W. O Grupo Central é composto pelas ilhas do Faial, do Pico, de São Jorge, da Graciosa e da Terceira. As ilhas de São Miguel e de Santa Maria, conjuntamente com os ilhéus das Formigas, definem o Grupo Oriental (Figura 2.1).

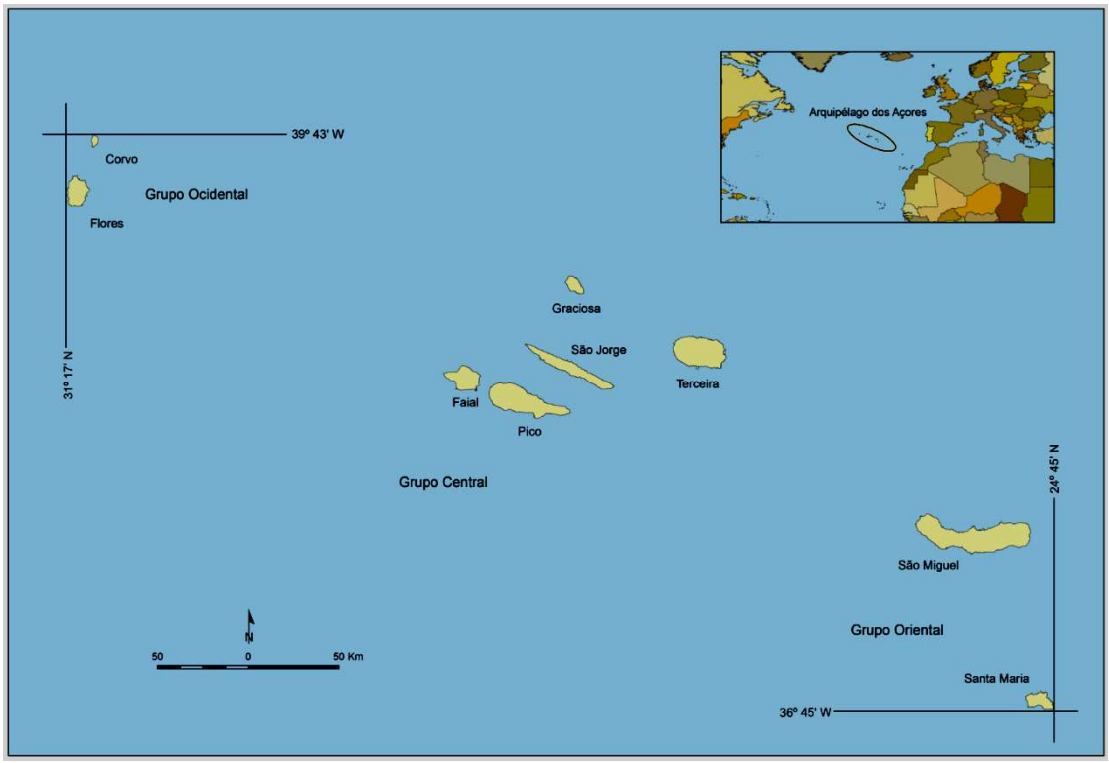


Figura 2.1 | Localização geográfica do arquipélago dos Açores (adaptado de Costa, 2006).

2.2 | ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO

Os edifícios vulcânicos que correspondem às diversas ilhas do arquipélago dos Açores emergem a partir da designada Plataforma dos Açores, onde a crusta oceânica apresenta um espessamento de cerca de 60% (Searle, 1980), definida pela linha batimétrica dos 2000 m (Needham e Francheteau, 1974) (Figura 2.2).

Esta região do Atlântico Norte corresponde a um ponto triplo onde contactam as placas Euroasiática, Africana e Norte Americana sendo a dinâmica regional dominada pela presença de importantes estruturas tectónicas, de entre as quais se

destacam a Zona de Fractura Este dos Açores, o Rifte da Terceira e a Crista Média Atlântica (Figura 2.3). Este complexo enquadramento estrutural da região dos Açores reflecte-se através de uma importante actividade sísmica e vulcânica.

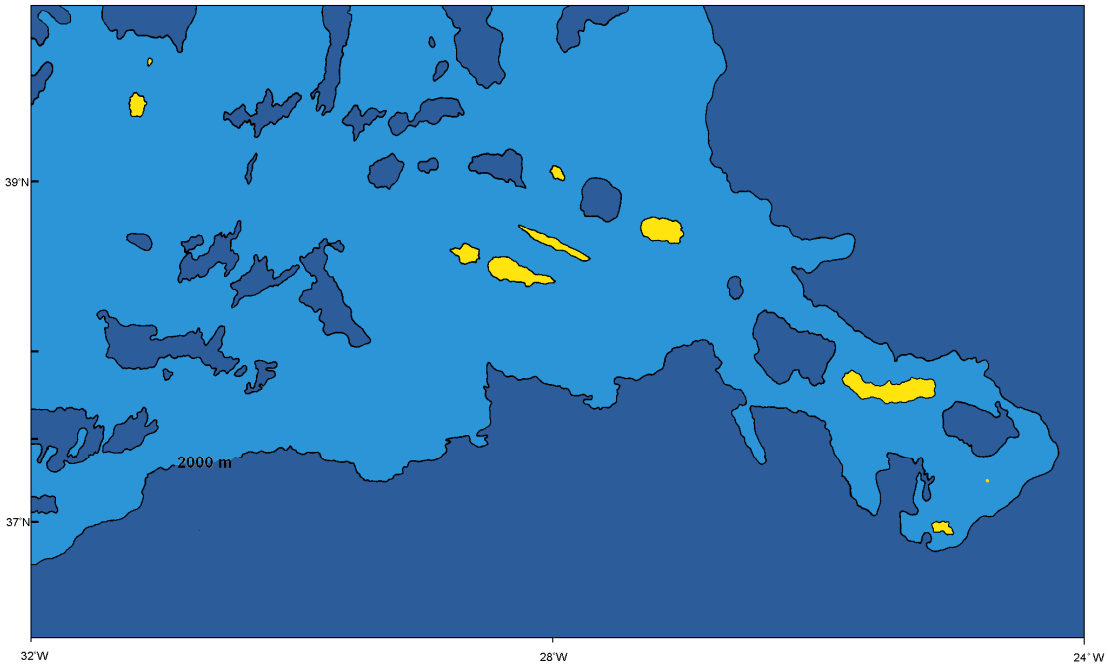


Figura 2.2 | Plataforma dos Açores (adaptado de Needham & Francheteau, 1974).

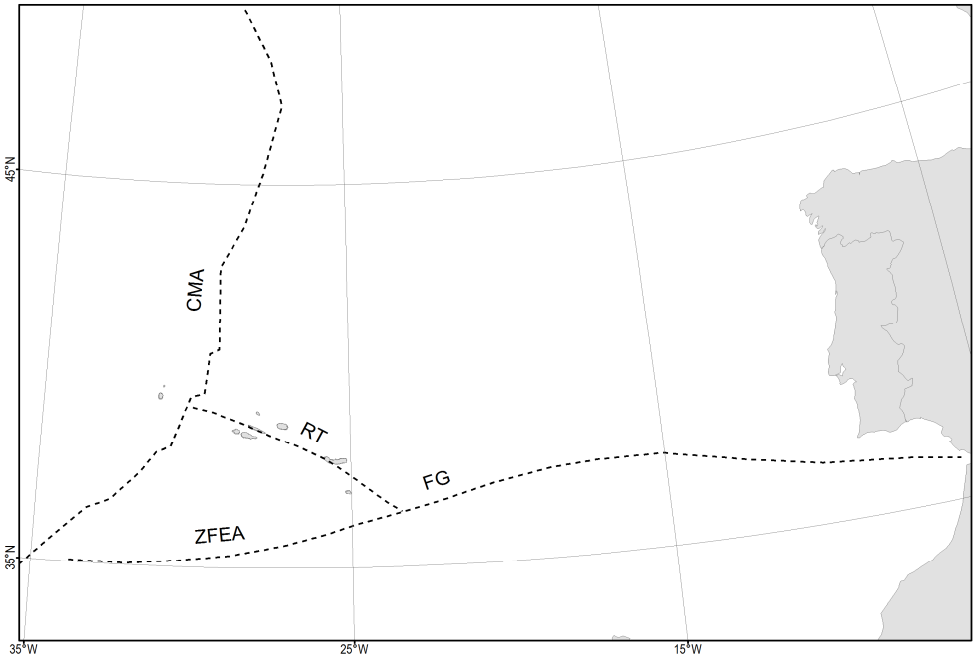


Figura 2.3 | Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA - Crista Média Atlântica; ZFEA - Zona de Fractura Este dos Açores; FG - Falha Gloria; RT - Rifte da Terceira, ZFOA - Zona de Fractura Oeste dos Açores (retirado de Pacheco *et al*., 2013).

A Zona de Fractura Este dos Açores é um acidente tectónico sismogénico, caracterizado por um movimento predominante de desligamento direito que, no troço

Açores - Gibraltar (Falha Gloria) marca a fronteira entre as placas Euroasiática e Africana, sendo o seu limite ocidental menos bem definido.

O Rifte da Terceira, com orientação geral WNW-ESE definida pelo alinhamento das ilhas dos grupos Central e Oriental, converge a oeste com a CMA e a leste com a Falha Gloria. Trata-se de uma estrutura caracterizada por um comportamento distensivo e de desligamento, associada a fenómenos sismogénicos e vulcânicos. Em sentido restrito, o Rifte da Terceira apresenta orientação NW-SE definida pelo alinhamento de uma série de bacias, cristas e maciços, compreendendo, de SE para NW, a Fossa das Formigas, os ilhéus das Formigas, a Bacia de São Miguel, a ilha de São Miguel, a Fossa Sul do Hirondelle, o Banco D. João de Castro, a Fossa Norte do Hirondelle, a Crista Submarina da Terceira, a ilha Terceira, a Bacia Este da Graciosa, a ilha Graciosa e a Bacia Oeste da Graciosa.

A Crista Média Atlântica estende-se segundo a direção N-S a norte dos Açores, e curva para sudoeste nesta região. Esta estrutura muito activa do ponto de vista sismogénico e vulcânico, apresenta uma importante componente distensiva e separa a placa Norteamericana das placas Euroasiática e Africana.

2.3 | ACTIVIDADE SÍSMICA

A região dos Açores é caracterizada por uma intensa actividade sísmica, centrada ao longo dos principais acidentes tectónicos anteriormente referidos, caracterizada pela ocorrência de eventos de magnitude geralmente baixa a intermédia, podendo ocorrer, menos frequentemente, eventos com magnitude superior a 5 na Escala de Richter (Figura 2.4). Contudo existem diversas zonas sismogénicas com elevada sismicidade, tais como, a zona a W do Faial, a Fossa Oeste da Graciosa, a Crista Submarina Leste da Terceira, a Fossa Hirondelle, a zona central de São Miguel, a Fossa da Povoação e a região dos ilhéus das Formigas.

Esta atividade tem provocado um número significativo sismos sentidos nos Açores, após a sua descoberta e povoamento no séc. XV, alguns dos quais com impacto importante. Desde o povoamento dos Açores, no século XV, verificaram-se cerca de 25 sismos (Figura 2.5) com intensidades superiores a VII na Escala de Mercalli Modificada, sendo também de assinalar as crises sísmicas de natureza vulcano-tectónica associadas a erupções vulcânicas ou à instalação de corpos magmáticos sub-superficiais.

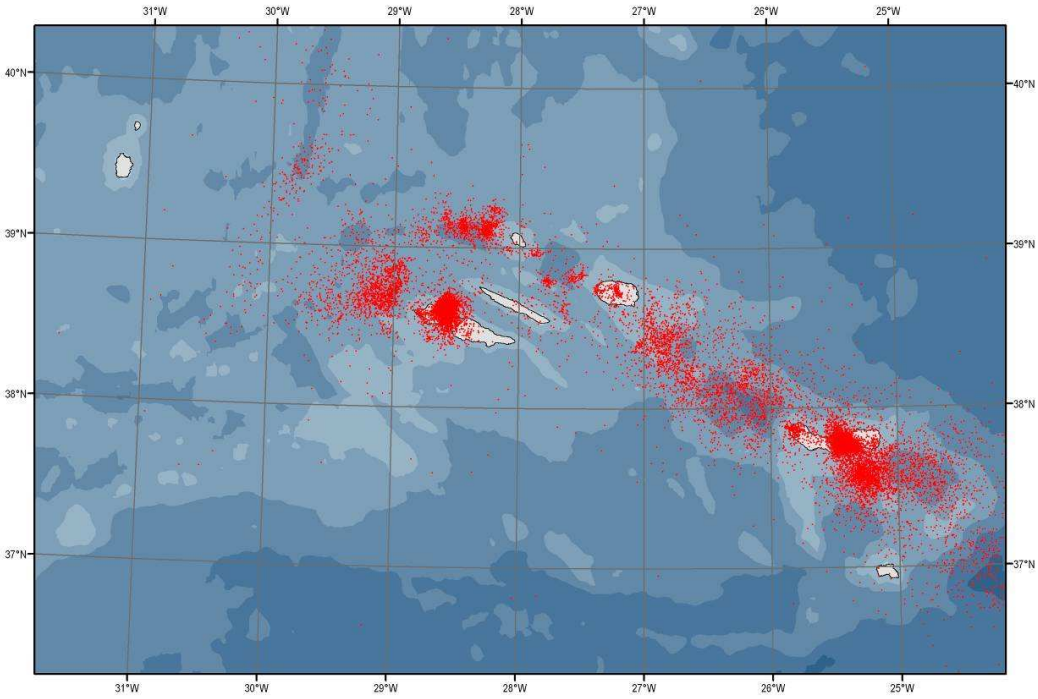


Figura 2.4 | Carta epicentral dos eventos registados no arquipélago dos Açores entre 1980 e Junho de 2006 (dados do SIVISA, 2006).

Os sismos mais destruidores e de maior magnitude de que há registo na região ocorreram em 1757 (Calheta de São Jorge) e em 1980 (Grupo Central), tendo ultrapassado os 7 graus na Escala de Richter. Contudo, o sismo que originou maior número de vítimas teve lugar na ilha de São Miguel (1522) e destruiu a então capital Vila Franca do Campo, causando cerca de 5000 vítimas mortais, para o que também contribuíram os volumosos movimentos de vertente desencadeados pelo sismo (Silveira, 2002).

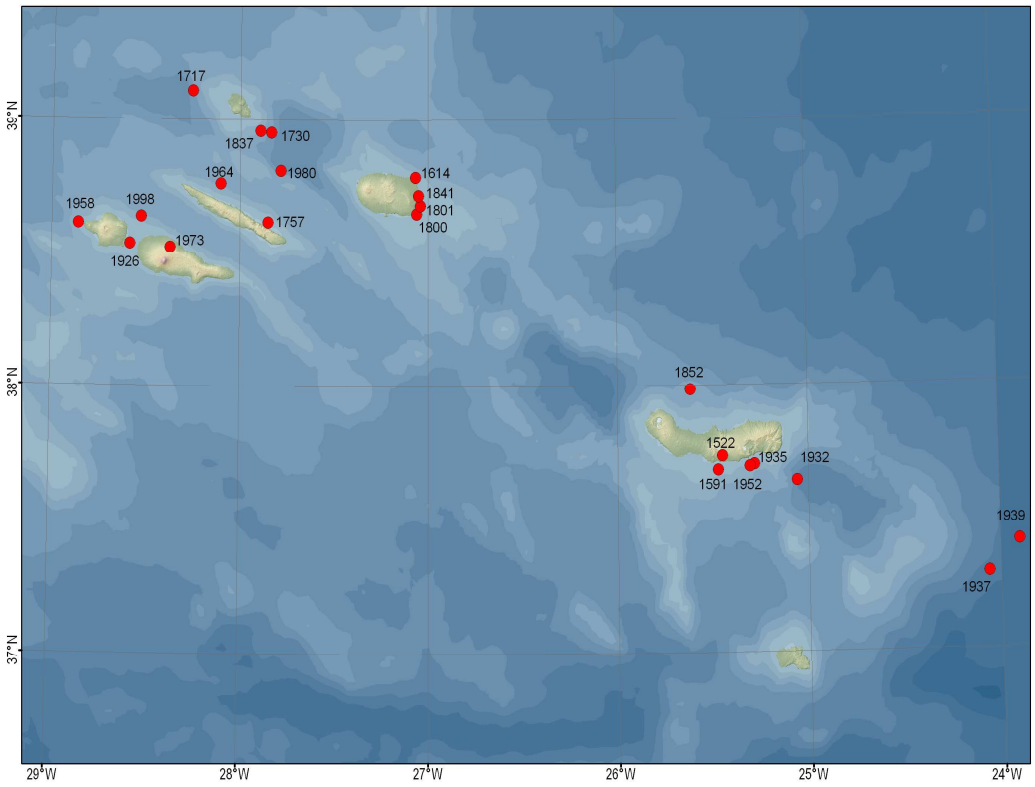


Figura 2.5 | Localização dos principais sismos históricos na região dos Açores (dados de Silveira, 2002 & Silva, 2005).

2.4 | ACTIVIDADE VULCÂNICA HISTÓRICA

A actividade eruptiva histórica no arquipélago dos Açores inclui cerca de 27 erupções, entre eventos subaéreos e submarinos, que cobrem uma grande diversidade de estilos eruptivos e magnitudes (Figura 2.6). Estas erupções distribuem-se também segundo a orientação geral WNW-ESE, havendo a registar nos últimos cinco séculos erupções nas ilhas do Pico, Faial, S. Jorge, Terceira e São Miguel.

As erupções históricas subaéreas revelam estilos eruptivos explosivos subplinianos e hidromagmáticos envolvendo magmas mais evoluídos, de composição traquítica (*s.l.*) associados aos vulcões centrais, e erupções efusivas ou moderadamente explosivas, do tipo havaiano e estromboliano de natureza basáltica (*s.l.*), normalmente associadas aos sistemas vulcânicos do tipo fissural (Pacheco *et al.*, 2013).

A análise da localização e sequência cronológica das várias erupções históricas observadas no arquipélago permite destacar o elevado número de erupções submarinas e litorais, que ascende a cerca de metade do total das erupções registadas, sendo este valor provavelmente subestimado, pois nem todas as erupções

submarinas se manifestam à superfície do oceano e, mesmo de entre estas, nem todas terão sido observadas.

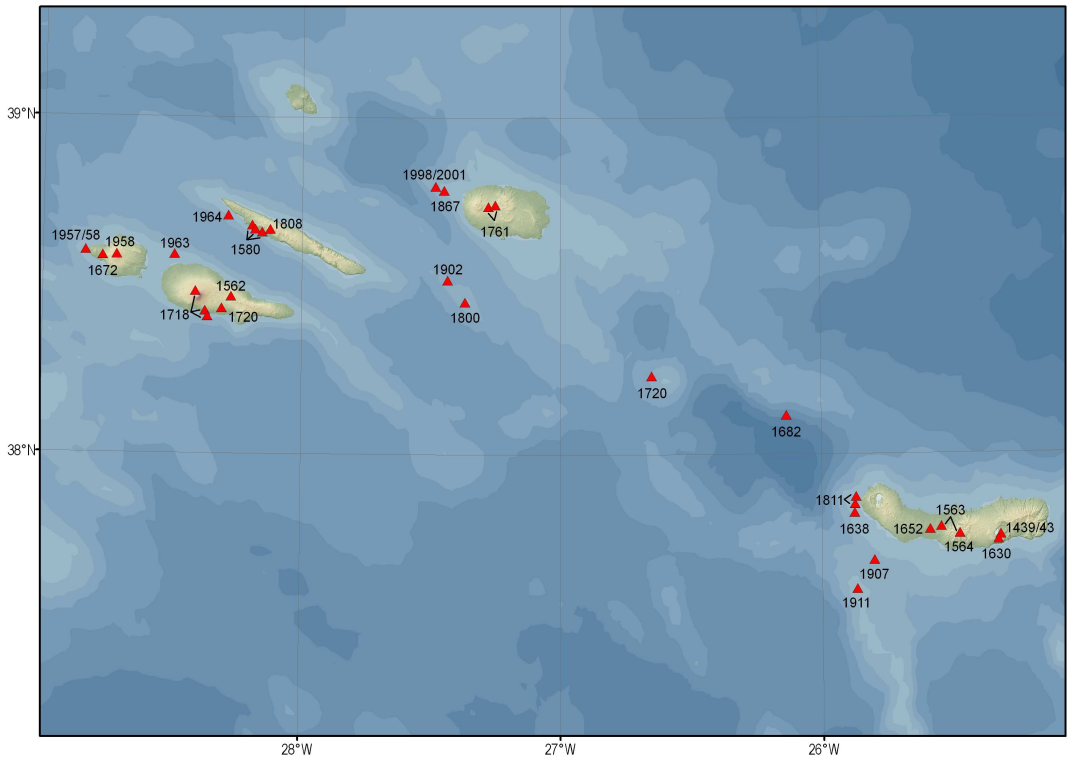


Figura 2.6 | Actividade vulcânica histórica no arquipélago dos Açores, (modificado de Weston, 1964, com dados de Queiroz *et al*., 1995, Queiroz, 1997 & Gaspar *et al*. 2003).

2.5 | CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA

Os produtos vulcânicos das ilhas do arquipélago inserem-se, na generalidade, na série de diferenciação alcalina (Assunção e Canilho, 1969-70; White *et al*., 1979; Rodrigues *et al*., 1989), num domínio intraplaca (Gaspar *et al*., 1990), contrastando com o carácter toleítico dos basaltos da CMA que atravessa a plataforma dos Açores (Schilling, 1975).

Como será de esperar, os basaltos das ilhas dos Açores apresentam maiores concentrações em elementos de alto potencial iónico (LILE) e maiores razões isotópicas de Pb e Sr que os basaltos toleíticos típicos (White *et al*., 1979). Contudo, os próprios os próprios basaltos toleíticos da plataforma dos Açores, bem como os basaltos do RT, apesar de terem cerca de metade da concentração em LILE característica dos basaltos alcalinos, apresentam concentrações de LILE e razões isotópicas de Sr significativamente maiores que os basaltos toleíticos típicos; de facto as suas razões isotópicas aproximam-se mesmo das encontradas para a generalidade dos basaltos alcalinos das ilhas (White *et al*., 1979) o que permite inferir que há uma anomalia geoquímica na região dos Açores (White *et al*., 1979).

Concluir-se-ia então que existia uma fonte comum aos basaltos toleíticos e alcalinos da plataforma dos Açores, mas os basaltos do Faial, Pico e S. Miguel constituem um obstáculo à generalização dessa conclusão, uma vez que apresentam razões isotópicas de Sr, significativamente superiores às encontradas para as restantes rochas, ou seja os basaltos destas ilhas terão possivelmente uma origem mantélica distinta da dos restantes (White *et al*., 1979).

Reconhecer-se que algumas das ilhas açorianas têm origem mantélicas diferentes implica o reconhecimento do desenvolvimento local de heterogeneidades do manto na região da anomalia geoquímica dos Açores (White *et al*., 1979).

Como os basaltos dos Açores são ricos em terras raras (REE), particularmente em terras raras leves (LREE), nem os toleíticos nem os basaltos alcalinos têm origem num manto empobrecido. Os estudos realizados por Richard *et al*. (1976, *in* White *et al*., 1979) apontam contudo para uma fonte ligeiramente empobrecida em LREE, durante grande parte da sua história, o que sugere que o aparente enriquecimento em LREE do manto, na região dos Açores terá resultado de um fenómeno de fraccionação relativamente recente (White *et al*., 1979). Considerando esta hipótese, as diferenças entre basaltos toleíticos normais e os toleíticos da plataforma dos Açores, bem como as semelhanças entre estes e os basaltos alcalinos das ilhas, poderão resultar da acção de uma pluma mantélica situada sob os Açores (White *et al*., 1979).

Considerando que os basaltos alcalinos e toleíticos dos Açores têm uma fonte comum, o modelo que melhor explica as diferenças entre os dois basaltos é um diferente grau de fusão da fonte, uma vez que os teores de Mg, Ni, Cr e Co são semelhantes, o que elimina a possibilidade dos dois basaltos terem sido submetidos a graus de cristalização fraccionada muito diferentes (White *et al*., 1979). Segundo White *et al.* (1979) os toleíticos deverão resultar de cerca do dobro da fusão que origina os basaltos alcalinos de forma a explicar o enriquecimento destes em LILE. Ainda segundo os mesmos autores, a riqueza em LREE dos basaltos alcalinos relativamente aos toleíticos, bem como a semelhança nas concentrações das terras raras pesadas (HREE) em ambos os basaltos poderá explicar-se pela existência de granada na fonte.

Menos polémica é a génese das lavas ácidas encontradas nas ilhas, uma vez que as características que distinguem os basaltos das várias ilhas, distinguem também as rochas mais evoluídas, o que sugere a existência de uma relação genética entre ambas. Assim as lavas ácidas parecem ser o produto de uma extensiva cristalização fraccionada dos líquidos parentais em reservatórios magmáticos subsuperficiais (White *et al*., 1979).

2.6 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

O afloramento vulcânico mais antigo do arquipélago encontra-se na ilha de Santa Maria, datado de $8{,}12 \times 10^6$ anos (Abdel-Monen *et al*., 1975). Nesta ilha, ao contrário das restantes, ocorrem intercalações de rochas sedimentares marinhas e terrestres em posições estratigráficas diversas (Serralheiro *et al*., 1987). A ilha mais recente do arquipélago é o Pico, com o derrame lávico mais antigo datado de 3×10^5 anos (Chovelon, 1982).

A história vulcanológica do arquipélago põe em evidência a ocorrência de variados estilos eruptivos ao longo da construção das ilhas.

A edificação de Santa Maria, São Jorge e Pico, bem como de extensas áreas noutras ilhas, como o Faial e São Miguel, relaciona-se com actividade vulcânica dos tipos havaiana e estromboliana. Assim, podem observar-se escoadas lávicas dos tipos pahoehoe e aa, de natureza basáltica *s.l.*, bem como cones de escórias e de spatter, muitas vezes dispostos ao longo de alinhamentos tectónicos. A região ocidental da ilha do Pico corresponde a um imponente vulcão central basáltico, que atinge 2354 m de altitude, construído por uma sucessão de erupções de escoadas lávicas basálticas *s.l.*, muito fluidas, intercaladas com depósitos piroclásticos da mesma natureza e menos importantes (Cruz, 1997; Nunes, 1999; França, 2000).

Em São Miguel a geologia é dominada pela ocorrência de três vulcões centrais ativos (Sete Cidades, Fogo e Furnas), associados a erupções muito explosivas de magmas de natureza traquítica *s.l.*, que explicam a origem das caldeiras de grande diâmetro que ocupam o topo destes aparelhos vulcânicos de idade quaternária (Forjaz, 1984; Booth *et al*., 1978; Moore, 1990; Guest *et al*., 1999). A actividade destes aparelhos vulcânicos é essencialmente de carácter explosivo, correspondendo a erupções plinianas, subplinianas e hidrovulcânicas, que permitiram a formação de depósitos de pedra-pomes de queda, escoadas piroclásticas, surges, lahars, domos e escoadas lávicas traquíticas.

A geologia da ilha Terceira é dominada por dois vulcões centrais com caldeira, o vulcão do Pico Alto e o vulcão de Santa Bárbara, os quais dominam respectivamente a área centro-norte e a extremidade W da ilha. Estes aparelhos vulcânicos compósitos estão separados por uma zona de vulcanismo fissural, com vários cones de escórias, onde ocorreu a erupção histórica de 1761 (Nunes, 2000). Os materiais vulcânicos emitidos a partir desta zona fissural cobrem também a área SW da ilha, onde se sobrepõem aos depósitos dos vulcões centrais, com caldeira, vulcão de Guilherme Moniz e o vulcão Cinco Picos. O primeiro domina a zona central-sul da ilha; o

segundo, o vulcão compósito mais antigo da ilha Terceira tem os seus depósitos distribuídos essencialmente para E.

A ilha Graciosa apresenta um vulcão central activo, com uma caldeira no topo que domina a zona SE e que contrasta com a plataforma, a NW, edificada por erupções em cones de escórias, de que resultou a extrusão de escoadas lávicas e piroclásticos basálticos *s.l.*, e onde ocorreu a actividade vulcânica mais recente desta ilha (Gaspar, 1996).

Na ilha do Faial a geologia é caracterizada pela existência de um vulcão central, com caldeira no topo da estrutura, que domina toda a região central e oriental da ilha, tendo a actividade vulcânica explosiva recente originado a deposição de depósitos de pedra-pomes de queda, lahars e escoadas piroclásticas (Chovelon, 1982; Coutinho, 2000; Pacheco, 2001). A extremidade W da ilha é dominada pela emissão de materiais piroclásticos a partir de cones de escórias, que se distribuem ao longo de fissuras eruptivas, bem como pela erupção de escoadas lávicas basálticas *s.l.*

Na ilha das Flores podem agrupar-se as formações vulcânicas em dois grupos: o Complexo Superior e o Complexo de Base. O Complexo Superior é representado por escoadas lávicas subaéreas e depósitos piroclásticos; o Complexo de Base, mais antigo, é constituído essencialmente por materiais vulcaniclásticos e depósitos de natureza basáltica e havaítica (Azevedo, 1998). A actividade vulcânica mais recente, hidrovulcânica, foi datada de cerca de 3000 anos (Morisseau, 1987).

A geologia da ilha do Corvo é dominada por um vulcão central, com uma caldeira no topo, que contrasta com o pequeno delta lávico que domina a extremidade S da ilha (França *et al*., 2002).

2.6.1 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA DE SÃO MIGUEL

2.6.1.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha de São Miguel, a maior ilha dos Açores, tem uma área de 747 km^2, um comprimento e largura de cerca de 66 km e 16 km, respectivamente. A cota máxima é atingida no Pico da Vara (1105 m).

Segundo Zbyszewski *et al*., (1958), a ilha de São Miguel apresenta oito unidades geomorfológicas principais, a saber (Figura 2.7): (1) Maciço Vulcânico das Sete Cidades, (2) Região dos Picos, (3) Maciço Vulcânico da Serra da Água de Pau, (4) Planalto da Achada das Furnas, (5) Vulcão das Furnas, (6) Vulcão da Povoação, (7) Região da Tronqueira e do Nordeste e (8) Plataforma Litoral do Norte.

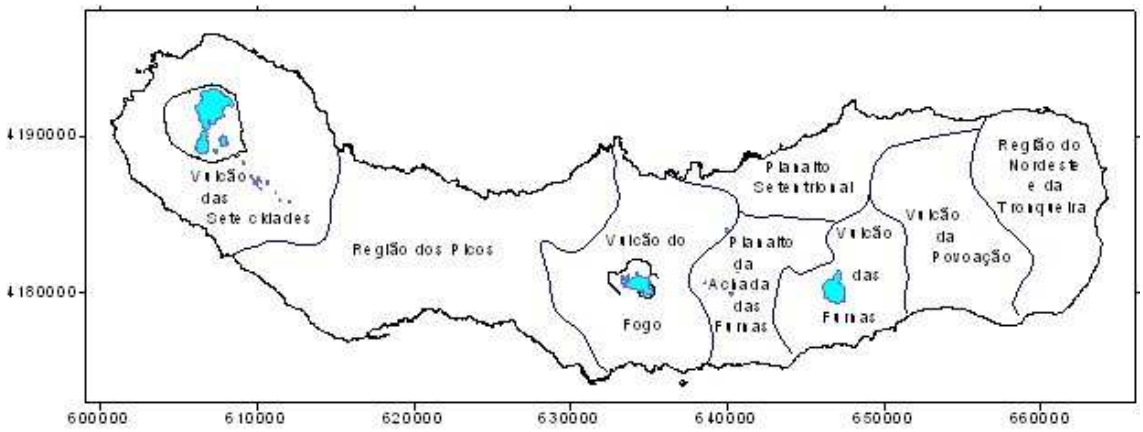


Figura 2.7 | Unidades geomorfológicas da ilha de S. Miguel definidas por Zbyzewski *et al.* (1961 in Ferreira, 2000).

O Maciço Vulcânico das Sete Cidades, situado na zona mais ocidental da ilha, corresponde a um vulcão central, com um diâmetro de base de cerca de 14 km e cota máxima de 856 m. Este vulcão apresenta uma caldeira no topo, com 5 km de diâmetro e 400 m de profundidade, no interior da qual se encontram duas lagoas, a Lagoa Azul e a Lagoa Verde, as quais se encontram em conexão, formando a Lagoa principal das Sete Cidades. No interior da caldeira existe ainda um conjunto de cones vulcânicos pomíticos, por vezes alinhados segundo fracturas NW - SE, cujas crateras também se encontram por vezes ocupadas por lagoas.

A Região dos Picos corresponde a um alinhamento de numerosos cones vulcânicos, segundo um sistema de fracturas de orientação geral NW-SE a W-E, que se estende ao longo de aproximadamente 12 km, entre o Maciço Vulcânico das Sete Cidades e o maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau. Dos cones monogenéticos destaca-se pela sua dimensão, a Serra Gorda (485 m) que contrasta com a altitude média da região de 200 m.

O Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau compreende o vulcão central do Fogo, cuja caldeira com cerca de 3 km por 2,5 km se encontra ocupada pela Lagoa do Fogo, por um cone pomítico e diversos domos (Wallenstein, 1999). O vulcão central apresenta um diâmetro basal médio de cerca de 13 km e o seu ponto de maior altitude (949 m) é o Pico da Barrosa. As vertentes da zona central do Maciço da serra de Água de Pau encontram-se muito erodidas, com uma rede de drenagem bastante encaixada. No flanco Norte, destaca-se a exploração de um campo geotérmico.

O Planalto da Achada das Furnas corresponde a uma região aplanada com cotas entre 400 a 500 m, localizada a Sul da Plataforma Litoral Norte, a este do Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau e a oeste do Vulcão das Furnas. Nesta

região podem observar-se um conjunto de cones vulcânicos, instalados, por vezes em fracturas, pequenos domos traquíticos, alinhados maioritariamente segundo a direcção W-E (p. ex. o Pico do Ferro), e o maar da Lagoa do Congro.

O Vulcão das Furnas corresponde a um aparelho vulcânico poligenético no topo do qual existe um complexo de caldeiras com cerca de 7 km de diâmetro externo e 290 m de profundidade (Guest *et al.* 1999). O interior da caldeira encontra-se ocupado pela Lagoa das Furnas, por vários cones intra-caldeira e por domos. Junto da margem N da Lagoa das Furnas e no lugar das Furnas podem observar-se fenómenos de vulcanismo secundário, nomeadamente fumarolas e nascentes de águas minerais. A rede hidrográfica está bem encaixada, particularmente na vertente Norte, como por exemplo a Ribeira Funda.

O Vulcão da Povoação é um vulcão compósito desmantelado, com uma caldeira semi - circular aberta para o bordo Sul, com numerosos cones intracaldeira e disseminados nos flancos. A rede hidrográfica, profundamente encaixada, divide a caldeira em vários interflúvios, localmente chamados por lombas da Povoação.

A Região do Nordeste e da Serra da Tronqueira, situada na zona mais oriental da ilha, apresenta formas vulcânicas pouco definidas, devido à profunda erosão que sofreu. A Serra da Tronqueira corresponde a uma crista de orientação NW - SE, entre o Pico Verde e o Lombo Gordo, apresentando cotas máximas no Espigão do Galego (908 m) e no Pico Bartolomeu (888 m). A Serra da Tronqueira é separada pela Ribeira do Guilherme, do Maciço do Pico da Vara, no qual se encontra o ponto de maior cota (1105 m) da ilha, o Pico da Vara. A rede hidrográfica é representada por uma série de cursos de água bem encaixados, subparalelos, com escoamento para Norte.

O Planalto Litoral Norte é constituído por um conjunto de interflúvios, aproximadamente paralelos, separados por um conjunto de vales profundos de que se destacam, entre outros, a Ribeira Funda, a Ribeira Seca e a Ribeira da Salga; estes interflúvios estendem-se desde o Planalto dos Graminhais até ao litoral Norte da ilha. No litoral Norte da ilha salientam-se plataformas baixas que formam promontórios, como a Ponta da Ajuda, a Ponta da Maia e a Ponta Formosa (Zbyszewski *et al*., 1958). No Planalto Litoral Norte encontram-se ainda alguns cones vulcânicos, dos quais se destaca o Pico da Senhora, a E da Lomba da Maia.

De entre as várias formas e estruturas vulcânicas encontradas na ilha, os cones de escórias são os mais frequentes, com uma distribuição condicionada pela tectónica e dominada pela orientação NW-SE do Rifte da Terceira (Figura 2.8).

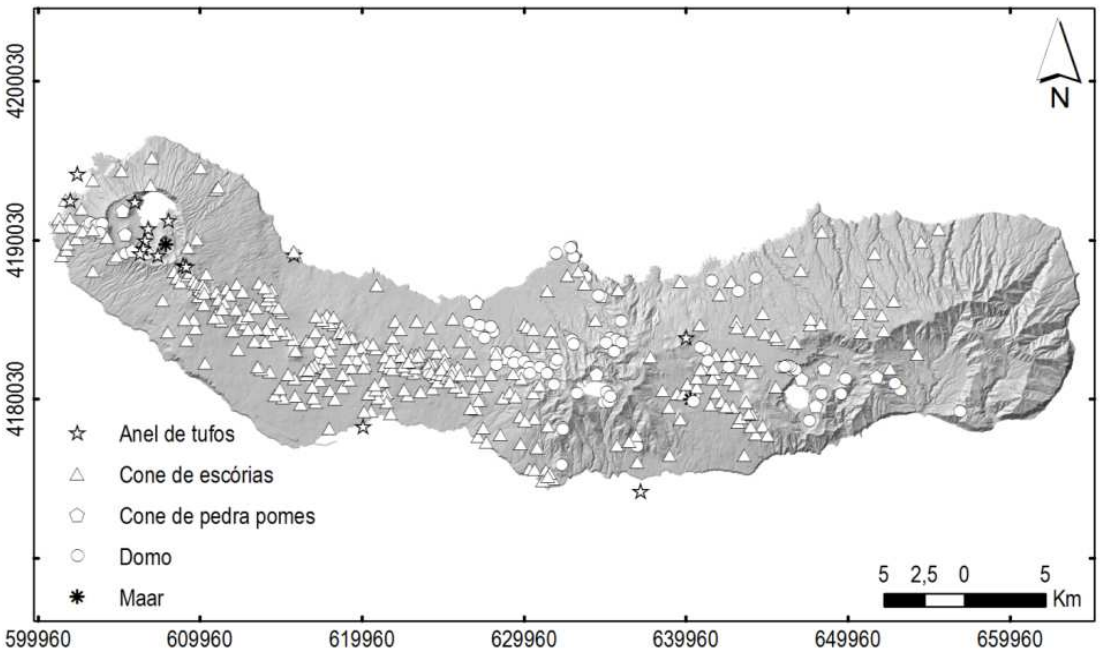


Figura 2.8 | Principais estruturas vulcânicas da ilha de São Miguel (dados de Gaspar *et al*., 1990; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo *et al*., 2009).

A observação da figura permite verificar que a orientação das estruturas mais importantes é aproximadamente NW-SE, particularmente notório no extremo ocidental da ilha, dominado pelo Complexo Vulcânico das Sete Cidades (Figura 2.8). Esta direcção que corresponde à orientação do Rifte da Terceira, uma estrutura do tipo *leaky transform*, definida inicialmente por Machado (1959) e retomada por numerosos autores mais recentes, prolonga-se desde a intercepção com a Crista Média Atlântica, afectando as ilhas Graciosa, Terceira e a extremidade W de São Miguel.

Embora predominem os acidentes tectónicos de orientação NW-SE é importante mencionar, também, a existência de outros, com orientação W-E e WNW-ESE, bem como fratures relacionadas com a dinâmica dos aparelhos vulcânicos, como as estruturas radiais e circulares dos centros eruptivos de maior dimensão, tais como os vulcões centrais do Fogo, Furnas e Sete Cidades.

Salientam-se, ainda, algumas estruturas activas da ilha, com orientação NW-SE, que mostram uma movimentação de deslocamento direito, com uma componente distensiva (Figura 2.9). Neste grupo salientam-se o Graben dos Mosteiros, com maior expressão no flanco NW do Complexo Vulcânico das Sete Cidades, que corta todo este aparelho vulcânico, podendo ser interpretado como um segmento sub-aéreo do Rifte da Terceira, bem como os grabens da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo e o sistema de fraturas do Congro.

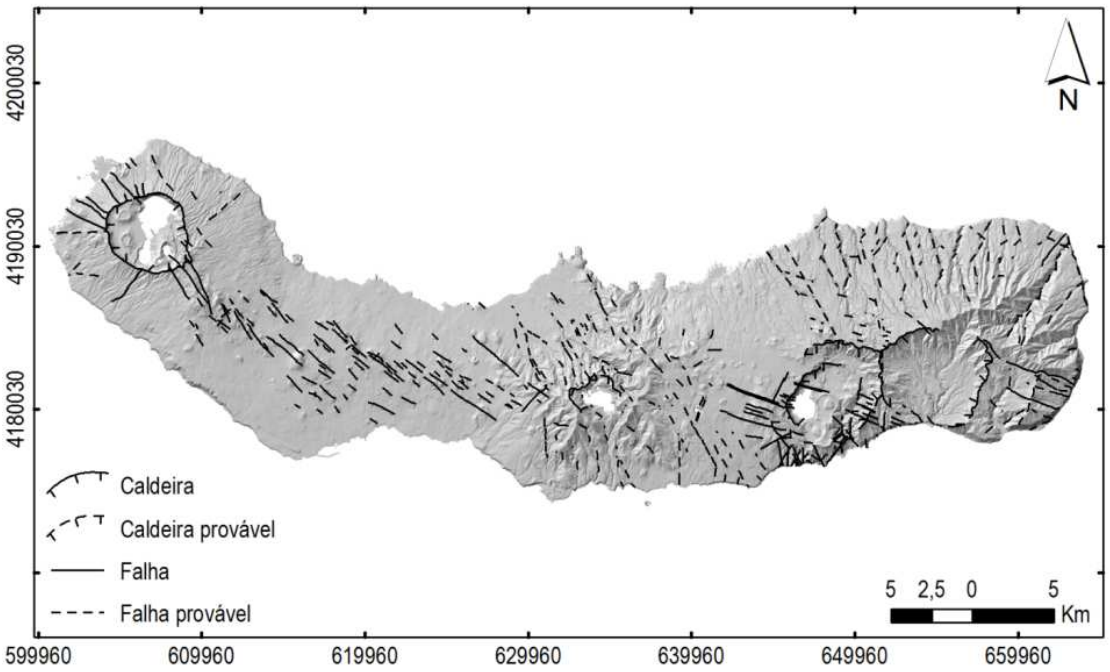


Figura 2.9 | Principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel (dados de Gaspar *et al*., 1990; Queiroz, 1997; Wallenstein, 1999; Ferreira, 2000; Carmo, 2004; Carmo *et al*., 2009).

2.6.1.2 | Geologia

Na ilha de S. Miguel existem seis unidades vulcanoestratigráficas que coincidem, grosso modo, com as unidades geomorfológicas da ilha (Figura 2.10): (1) Vulcão das Sete Cidades, (2) Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, (3) Vulcão do Fogo, (4) Sistema Vulcânico Fissural do Congro, (5) Vulcão das Furnas (6) Vulcão da Povoação (7) Sistema Vulcânico do Nordeste.

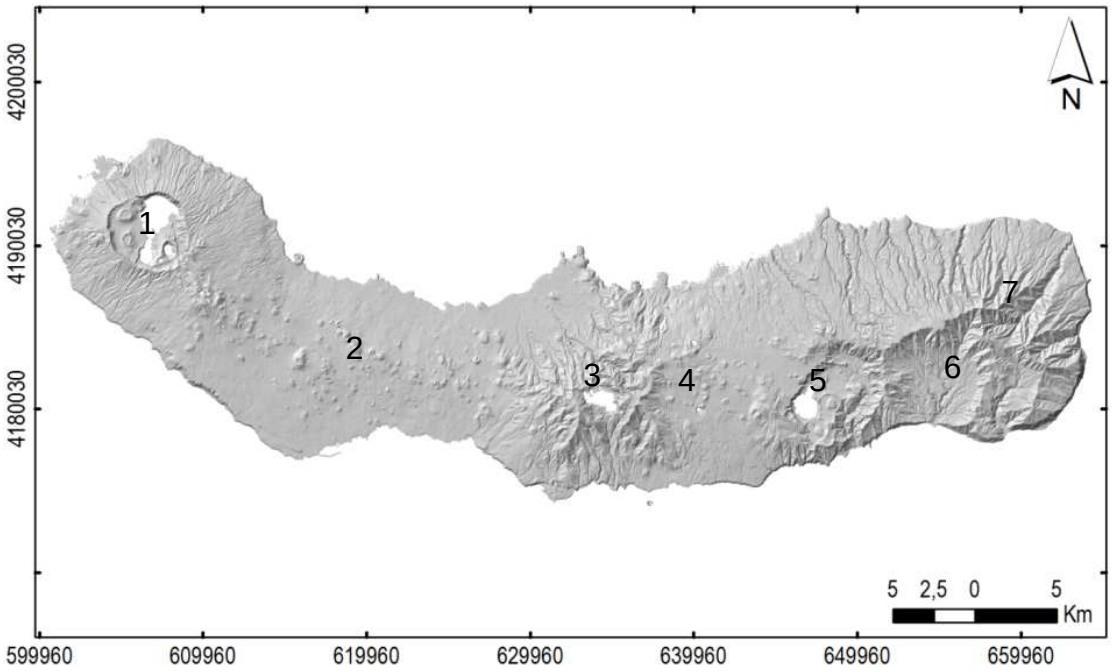


Figura 2.10 | Modelo digital de terreno da ilha de S. Miguel com as unidades vulcanológicas: 1 – Vulcão das Sete Cidades; 2 – Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 – Vulcão do Fogo; 4 – Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 – Vulcão das Furnas; 6 – Vulcão da Povoação; 7 - Sistema Vulcânico do Nordeste (Moore,1991b in Pacheco *et al*, 2013).

O Vulcão das Sete Cidades domina a extremidade oeste da ilha e contacta com o Sistema Fissural dos Vulcânico dos Picos. A sua formação começou há algumas centenas de milhares anos, se atendermos à idade de 210 000 ± 8000 determinada para as rochas aflorantes mais antigas (Moore, 1983).

Queiroz (1997) definiu uma escala estratigráfica para o vulcão das Sete Cidades que compreende dois grupos principais: o Grupo Inferior que contempla depósitos associados à fase subaérea de construção do edifício, com idades superiores aos 36 000 anos, e o Grupo Superior que é constituído por seis formações que correspondem à evolução do vulcão central até ao presente, dominada pela formação da caldeira, cuja evolução está associada a três fases principais, com a ocorrência de erupções paroxismais, datadas de há cerca de 36 000, 29 000 e 16 000 anos (Queiroz, 1997).

O Grupo Inferior reflete um vulcanismo essencialmente efusivo representado por escoadas lávicas basálticas (*s.l.*) a traquíticas (*s.l.*) e depósitos vulcaniclásticos. As seis unidades geológicas que constituem o Grupo Superior são: Formação do Risco, Formação da Ajuda, Formação da Bretanha, Formação das Lombas, Formação de Santa Bárbara e Formação das Lagoas; a primeira, a terceira e a quinta formação estão associadas, respetivamente, à primeira, segunda e terceira fase de formação da caldeira. O Grupo Superior apresenta produtos que vão desde ignimbritos, depósitos piroclásticos de queda, depósitos vulcaniclásticos, escoadas lávicas e depósitos resultantes de atividade hidromagmática, especialmente nos últimos 5000 anos. No interior da caldeira podem observar-se cones pomíticos, *maars* e domos traquíticos (Queiroz, 1997).

Nos flancos do vulcão central encontra-se uma espessa cobertura de piroclastos pomíticos, sendo também possível a observação de cones de escórias e domos traquíticos que constituem centros eruptivos secundários (Queiroz, 1997).

A última erupção que ocorreu no interior da caldeira foi há cerca de 600 anos e originou o cone de pedra-pomes da Lagoa Seca, não existindo registo da ocorrência de erupções históricas em terra na região das Sete Cidades. Contudo, existem relatos históricos de erupções submarinas em 1638 e duas em 1811 (Queiroz, 1997).

O Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, ocupando uma área de cerca de 180 km^2, com uma altitude média que geralmente não ultrapassa os 200 m, está compreendido entre os flancos E do vulcão das Sete Cidades e W do vulcão do Fogo. Atendendo à idade das rochas aflorantes mais antigas (Moore, 1991a), terá emergido há cerca de 50 000 anos. O seu vulcanismo, marcadamente do tipo fissural, é bem evidenciado pela distribuição dos numerosos aparelhos eruptivos instalados em fraturas de direção geral WNW-ESE, e de direção NW-SE, sendo predominantemente materializado por numerosos cones de escórias, com escoadas lávicas associadas, e também por cones de tufos basálticos de que o aparelho vulcânico do Rosto do Cão (São Roque) é exemplo. A atividade eruptiva responsável pela edificação deste complexo foi essencialmente efusiva, ou de baixa explosividade, nomeadamente do tipo havaiano e estromboliano.

A inexistência de níveis de referência impossibilita o estabelecimento de uma estratigrafia fina, facto que levou Ferreira (2000) a estabelecer duas subunidades com base na sua posição relativamente ao depósito Fogo A. Assim, temos a Subunidade de Ponta Delgada, com maior expressão no sector norte, que inclui os produtos mais antigos, desde a emergência até há cerca de 5000 anos, e a Subunidade do Pinhal da

Paz, melhor expressa no sector sul, que compreende todos os centros e produtos vulcânicos gerados nos últimos 5000 anos. As escoadas lávicas são predominantemente de lavas máficas, basanitóides e ankaramitos, embora sejam reconhecidos produtos de natureza ácida associados às únicas quatro erupções responsáveis pela extrusão de traquitos. Morfologicamente as escoadas são preferencialmente do tipo aa embora, na proximidade de alguns centros eruptivos, se observem características pahoehoe, que se vão desvanecendo, a maior parte das vezes, à medida que a viscosidade vai aumentando com o prosseguimento do fluxo.

Segundo Booth *et al*. (1978), no Sistema Vulcânico Fissural dos Picos ocorreram cerca de trinta erupções vulcânicas nos últimos 5000 anos, sendo duas históricas. A primeira, localizada na área onde o Sistema Vulcânico Fissural dos Picos e o vulcão do Fogo se sobrepõem, ocorreu em 1653, no Pico do Saptareiro, e foi de natureza basáltica e estilo havaiano (Wallenstein, 1999). A segunda ocorreu em 1652 no Pico do Fogo e foi marcada por fases explosivas de características vulcanianas, emissão de cinzas e piroclastos de queda, bem como extrusão de lavas muito viscosas de de progressão reduzia (Ferreira, 2000).

Para além dos produtos oriundos dos próprios aparelhos vulcânicos que integram este complexo há ainda a salientar a existência de um capeamento pomítico, mais ou menos disperso, oriundo de importantes erupções ocorridas nos vulcões do Fogo e das Sete Cidades.

Localizado na parte central da ilha, o vulcão do Fogo é o maior dos três vulcões centrais ativos, com uma área de 133 Km2 e uma altura máxima de 947 m. O topo deste vulcão apresenta-se truncado por uma caldeira com cerca de 3,2 Km de diâmetro e uma área aproximada de 4,8 Km2 e cujas paredes apresentam alturas entre os 370 m e os 10 m relativamente à base da depressão (Wallenstein, 1999). No interior da caldeira pode observar-se um cone de pedra-pomes e vários domos enquanto os flancos do vulcão estão cobertos por espessos depósitos piroclásticos de natureza traquítica (*s.l.*), podendo ainda observar-se alinhamentos de cones de escórias e domos lávicos que refletem a direção estrutural predominante ou a ocorrência de domos associados a falhas circulares (Wallenstein, 1999).

A idade mais antiga para os materiais que constituem a base do vulcão do Fogo, foi obtida em lavas submarinas amostradas à profundidade 878 m quando da realização de uma sondagem efetuada no flanco norte do vulcão e cuja idade é de 280 000±140 000 anos (Muecke *et al*. 1974; McGraw, 1976). Esta sondagem permitiu ainda identificar a transição do vulcanismo submarino para o vulcanismo subaéreo à

profundidade de 786 m. Não obstante, a rocha mais antiga que aflora no maciço pertence a um domo lávico e tem uma idade de 181.000±15.000 yr. B.P. (Gandino *et al*. 1985, in Moore 1990).

Wallenstein (1999) definiu o Grupo Inferior e o Grupo Superior, como as principais unidades estratigráficas do Vulcão do Fogo. O primeiro engloba todos os materiais que se formaram há mais de 40.000 anos e o segundo inclui os produtos vulcânicos emitidos nos últimos 40.000 anos. Na base do Grupo Inferior predominam as ecoadas lávicas de natureza basáltica (*s.l.*), embora os afloramentos predominantes deste grupo sejam de natureza traquítica (*s.l.*). O Grupo Superior apresenta uma bimodalidade do quimismo e do vulcanismo, com a presença de cones de escórias e escoadas lávicas basálticas (*s.l.*) nos flancos do vulcão e a ocorrência de erupções explosivas de natureza traquítica (*s.l.*), com importantes fases plinianas e sub-plinianas, localizadas principalmente no interior da caldeira. Este grupo está dividido em cinco formações: Roída da Praia, Ribeira Chã, Fogo A, Lombadas e Erupções Históricas. A primeira corresponde à atividade ocorrida entre os 34 000 anos e os 8 000- 12 000 anos, A Formação da Ribeira Chã é marcada por uma erupção paroxismal, ocorrida há cerca de 8000 a 12 000 anos, O Fogo A refere-se essencialmente à erupção paroxismal que ocorreu há cerca de 5000 anos e a Formação das Lombadas representa as erupções do Fogo B, C e D, definidas por Both *et al*. (1978) e as erupções ocorridas nos últimos 3000 anos, exceto as históricas.

Nos últimos 5000 anos ocorreram cinco erupções explosivas de natureza traquítica e quatro de natureza basáltica. As erupções históricas datam de 1563, caracterizam-se pela ocorrência de um evento hidromagmático no interior da caldeire e, quatro dias depois, por uma erupção efusiva, já referida na descrição do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, e que Wallenstein (1999) inclui no Vulcão do Fogo. Em 1564 um episódio explosivo de natureza hidromagmática (Wallenstein *et al.* 2007).

O Sistema Vulcânico Fissural do Congro é um sistema fissural basáltico que se desenvolve ao longo dos flancos dos vulcões do Fogo e das Furnas. À semelhança do que se observa no Sistema Fissural dos Picos, a atividade eruptiva é condicionada pela tectónica da região.

Caracteriza-se pela presença de numerosos cones de escórias, onde predominam o vulcanismo estromboliano e, por vezes, havaiana. Embora o vulcanismo basáltico (*s.l.*) seja dominante, ocorreram neste sistema erupções efusivas de natureza traquítica (*s.l.*) que originaram domos. A interação da atividade magmática com as massas de água possibilitou a ocorrência de erupções magmáticas ou

freatomagmáticas de que resultou a formação de vários *maars*, como é o caso do *maar* do Congro (Pacheco *et al*., 2013).

Apesar desta região apresentar uma cobertura de materiais, pomíticos provenientes dos vulcões vizinhos, foi possível identificar alguns depósitos, entre o quais o Fogo A, facto que permitiu a Moore (1991a) identificar três erupções que ocorreram nos últimos 5000 anos, com particular destaque para o *maar* do Congro que se formou há cerca de 3800 anos.

O Vulcão das Furnas, localizado entre o Vulcão da Povoação, a este, e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, a oeste, corresponde a um vulcão central e está representado por produtos traquíticos resultantes de actividade vulcânica essencialmente explosiva, bem como por domos e escoadas lávicas muito espessas. No topo do vulcão existe um complexo de caldeiras, resultante de importantes episódios de colapso; a caldeira mais antiga apresenta cerca de 7 km de comprimento por 5 km de largura e no interior desta, um episódio de subsidência mais recente, levou à formação de outra caldeira, aproximadamente semi-circular, com 5 km de diâmetro médio.

O registo eruptivo do vulcão Furnas data de há mais de 93 000 anos (Moore, 1990b). A sua história eruptiva é bem observada ao longo da costa no flanco sul do vulcão e mostra que foi originado em ambiente subaéreo, como resultado de uma atividade predominantemente explosiva, de natureza traquítica (s.l.), o que está de acordo com o fato de que 90% dos materiais expostos serem de natureza piroclásticos (Cole *et al.* 1999).

Guest *et al*. (1999) definiram três grupos estratigráficos para o vulcão. O Grupo Inferior inclui os materiais mais antigos que consistem principalmente em depósitos de pedra-pomes, depósitos piroclásticos de fluxo e algumas escoadas lávicas e é limitado superiormente pelo Formação do Ignimbrito da Povoação, com cerca de 30 000 anos. O Ignimbrito da Povoação resulta de importante evento paroxismal que começou com uma fase pliniana que originou leitos de lapilli de queda, depósitos de surge, ignimbritos não soldados e ignimbritos soldados que atingem os 60 m de espessura, em alguns locais. Provavelmente corresponde ao maior evento explosivo do vulcão das Furnas, associado à formação da sua primeira caldeira. O grupo Intermédio compreende todas os materiais entre 30 000 anos 5000 e anos. Na parte inferior deste grupo observam-se alguns depósitos piroclásticos basálticos, devido à proximidade do Sistema Vulcânico Fissural do Congro e, na parte superior, prevalecem depósitos de

pedra-pomes alternando com camadas de cinzas e lapilli, evidenciando a importância de eventos hidromagmáticos (Cole *et al*., 1999).

O Grupo Superior compreende todos os depósitos de menos de 5000 anos e consiste de um grupo de depósitos traquíticos bem estudadas (Booth *et al*., 1978; Pacheco 1995; Cole *et al*., 1995, 1995) com origem no interior da caldeira. Este grupo inclui as duas erupções históricas ocorridas no vulcão da Furnas. A primeira erupção teve lugar em 1439-43 e terá sido a primeira erupção a ser observada, desde o povoamento da ilha (Queiroz, 1995); a segunda erupção ocorreu em 1630, teve características subpliniana/hidromagmática (Cole *et al*., 1995), e começou com uma fase explosiva que originou um anel de pedra-pomes e tufos e acabou com o surgimento de um domo.

O Vulcão da Povoação, que se encontra a oeste do Sistema Vulcânico do Nordeste e a este do Vulcão das Furnas, é constituído por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos, apenas observáveis nas arribas da costa sul, uma vez que se encontra densamente coberto por produtos explosivos oriundos do Vulcão das Furnas. Moore (1990, 1991b) evidenciou o ignimbrito da Povoação, inter-relacionado com o evento vulcânico responsável pela formação da caldeira das Furnas, bem como algumas escoadas lávicas basálticas e cones estrombolianos, observáveis na caldeira da Povoação.

O Sistema Vulcânico do Nordeste, a unidade vulcanoestratigráfica mais antiga da ilha, datado entre 0,95 e 4,01 Ma. (Abdel-Monen *et al.,* 1975), domina a extremidade oriental da ilha. Os produtos resultantes deste apresentam elevados grau de alteração e são essencialmente resultado de atividade vulcânica efusiva, do tipo fissural. Apresenta espessas sequências lávicas basálticas *s.l.* com termos traquíticos, intercalados com depósitos de escórias. Fernandez (1980) dividiu este complexo vulcânico numa sequência de 4 formações, designadamente os basaltos inferiores/transicionais, com cerca de 4,01 Ma, os ankaramitos, os basaltos superiores e os traquibasaltos e tristanitos. Geradas por vulcanismo explosivo, com origem nos vulcões ativos mais recentes, observam-se rochas de natureza mais ácida (traquitos), com cerca de 0,95 Ma.

Merece realce o facto duma parte significativa deste sistema vulcânico, cujas idades ainda não são consensuais, ser coberto pela erupção histórica do Fogo de 1563 (Booth *et al*., 1978; Wallenstein, 1999).

2.6.2 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA TERCEIRA

2.6.2.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha Terceira, com uma forma aproximadamente oval (E-W), abrange uma área de cerca de 400 km^2. Apresenta um comprimento e largura de 30 km e 19 km, respectivamente, e uma cota máxima no vértice geodésico de Santa Bárbara, com 1021m de altitude.

Sob o ponto de vista geomorfológico, individualizam-se seis zonas (Figura 2.11) com características distintas (Zbyszewski, 1968; Zbyszewski *et al*., 1971; Self, 1974, 1976): (1) o Vulcão dos Cinco Picos; (2) o Vulcão Guilherme Moniz; (3) o Vulcão do Pico Alto; (4) o Vulcão de Santa Bárbara; (5) a Zona Fissural; e (6) o Graben das Lajes.

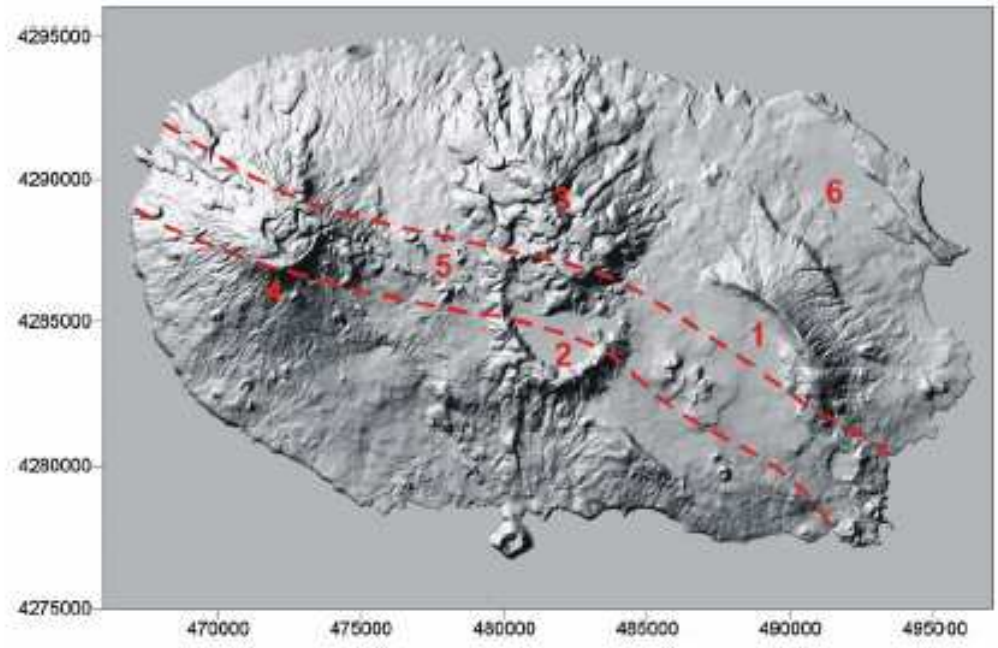


Figura 2.11 | Modelo digital de terreno da ilha Terceira, onde se destacam seis regiões geomorfológicas. 1 – Vulcão dos Cincos Picos; 2 – Vulcão Guilherme Moniz; 3 – Vulcão do Pico Alto; 4 – Vulcão de Santa Bárbara; 5 – Zona Fissural, com destaque para o Sistema Vulcânico Fissural; 6 – Graben das Lajes. Coordenadas U.T.M., zona 26S (adaptado de Queiroz *et al*., 2001 com dados de Self, 1974, 1976, in Pimentel, 2006).

O Vulcão dos Cinco Picos localizado na zona oriental da ilha é o mais antigo e o mais erodido. Corresponde-lhe um edifício de grandes dimensões, com uma imponente depressão, a caldeira dos Cinco Picos com um diâmetro aproximado de 7 km. A Serra do Cume e a Serra da Ribeirinha definem os flancos NE e SW do vulcão, sendo que a Serra da Ribeirinha apresenta um alongamento NW-SE. No interior da

caldeira existem cones dispostos ao longo de três alinhamentos de orientação NW-SE, sendo o de maior altitude o Pico Malhão (482 m) (França *et al*., 2003).

O Vulcão Guilherme Moniz corresponde a um vulcão central, localizado na região centro-meridional na ilha, cuja caldeira se encontra parcialmente preenchida por lavas oriundas do Pico do Algar do Carvão. Os flancos N e E da caldeira encontram-se desmantelados, enquanto os flancos S e W se encontram preservados sob a forma da Serra do Morião. Nos flancos S e SW da Serra do Morião observam-se cones vulcânicos secundários instalados sobre acidentes tectónicos de direção N-S (Zbyszewski *et al*., 1971).

O Vulcão do Pico Alto, situado na região centro-setrentional, sobre o flanco Norte do Vulcão Guilherme Moniz, insere-se no Maciço do Pico Alto. Corresponde a um vulcão central preenchido por domos e *coulées* traquíticas *(s.l.)*, com diversos centros eruptivos e com caldeira (Pimentel, 2006).

A Serra de Santa Bárbara, localizada na região W da ilha Terceira, compreende o Vulcão de Santa Bárbara truncado por duas caldeiras concêntricas, a mais recente das quais está totalmente preenchida por domos e *coulées*. No interior da caldeira observam-se algumas lagoas de pequenas dimensões. Nas imediações do estratovulcão de Santa Barbara encontra-se uma série de cones secundários, ora dispostos radialmente, ora sobre acidentes tectónicos de orientação geral NW-SE.

A Zona Fissural compreende uma faixa com cerca de 2 km de largura que atravessa a ilha na direção geral WNW-ESE, desde o flanco NW do Vulcão de Santa Bárbara até à extremidade SE da ilha; é definida por cones de escória alinhados, domos lávicos e falhas ao longo de uma orientação NW-SE a WNW-ESE.

O Graben das Lajes, no extremo NE da ilha, é bem desenvolvido e é delimitado por duas escarpas de falha bem desenvolvidas, com orientação média NW-SE, que se estendem por mais de 8 km e se distanciam cerca de 3 km. A Falha das Lajes limita o Graben a NE, enquanto o limite SW é definido pela Falha das Fontinhas.

A rede hidrográfica da ilha Terceira apresenta-se, de forma geral, com uma drenagem radial centrífuga em torno das zonas montanhosas e com um padrão sub-paralelo nas zonas mais aplanadas.

Do ponto de vista tectónico a ilha Terceira é dominada por importantes estruturas de orientação geral entre NNW-SSE e WNW-ESE (Figura 2.12), entre as quais se destacam os Grabens das Lajes e de Santa Bárbara (Zbyszewski, 1968; Zbyszewski *et al*., 1971; Lloyd e Collis, 1981; Nunes, 2000; Queiroz *et al*., 2001; Madeira, 2005). Entre os vários acidentes tectónicos existentes na ilha o mais

importante é o Graben das Lajes, localizado no extremo NE da ilha e definido por diversas escarpas de orientação NW-SE.

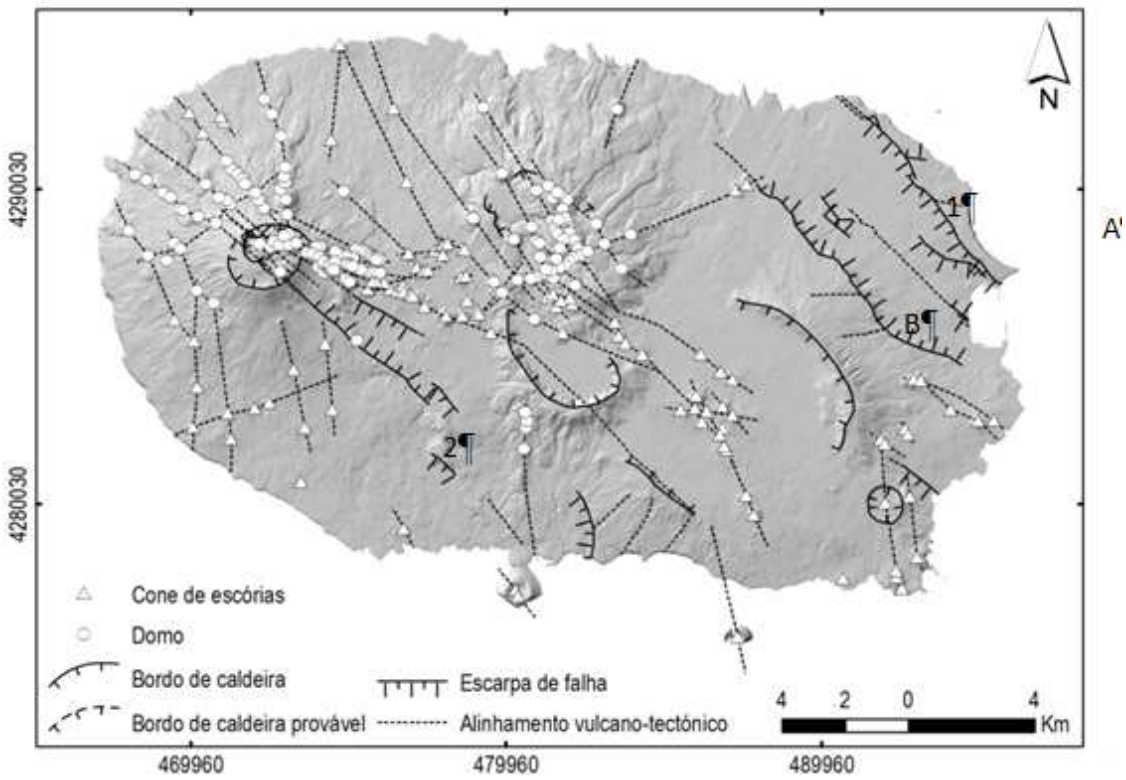


Figura 2.12 | Esboço vulcano-tectónico da ilha Terceira: 1 – Graben das Lajes; A – Falha das Lajes; B – Falha das Fontinhas; 2 – Graben de Santa Bárbara. Coordenadas U.T.M., zona 26S (adaptado de Queiroz *et al*., 2001 & Madeira, 2005).

Na vertente SE do Vulcão de Santa Bárbara encontra-se outro graben, morfologicamente pouco desenvolvido, definido por duas falhas de orientação aproximada NW-SE que convergem progressivamente para NW, onde são materializadas por alinhamentos de domos (Nunes, 2000; Queiroz *et al*., 2001; Madeira, 2005).

Na região meridional da ilha e no flanco SW do Vulcão de Santa Bárbara destacam-se ainda outras estruturas com diferentes orientações tais como: falhas, fracturas e alinhamentos de centros eruptivos de orientação geral ENE-WSW e N-S; e falhas e fraturas de orientação E-W associadas ao Graben das Lajes (Lloyd e Collis, 1981; Nunes, 2000; Queiroz *et al*., 2001; Madeira, 2005).

2.6.2.2 | Geologia

A primeira carta geológica da ilha Terceira foi realizada por Zbyszewski *et al*. (1971) com base, essencialmente, em critérios petrográficos. Desde então, vários autores caracterizaram a ilha (Self, 1974; Lloyd & Collis, 1981; Forjaz *et al*., 1990).

Recentemente, Nunes em 2000, com uma reinterpretação dos trabalhos pré-existentes, propõe uma carta geológica onde subdivide a ilha em cinco regiões que são: (1) Vulcão dos Cinco Picos, (2) Vulcão de Guilherme Moniz, (3) Vulcão de Santa Bárbara, (4) Vulcão do Pico Alto, (5) Zona Basáltica Fissural.

O Vulcão dos Cinco Picos apresenta uma alternância de escoadas lávicas e depósitos piroclásticos, incluindo importantes ignimbritos que representam as formações mais antigas da ilha. O vulcão apresenta uma caldeira no seu topo que está parcialmente preenchida por lavas associadas ao vulcanismo fissural mais recente. Ocorrem, ainda, níveis de pedra-pomes de queda e numerosas escoadas piroclásticas, associadas a um período de alta explosividade, que originaram ignimbritos de natureza traquítica comendítica, com excepção do Vale de Linhares que é mugearítico (Self (1974) *in* França *et al*., 2003).

No Vulcão Guilherme Moniz podem observar-se domos traquíticos, centros eruptivos basálticos *s.l.*, dois cones surtseianos (Monte Brasil e Ilhéu das Cabras) e ignimbritos, destacando-se o Castelinho, portador de sienitos (França, 1993), de idade superior a 23.000 anos (Self, 1974).

O Vulcão de Santa Bárbara, inicialmente com vulcanismo básico terá evoluído para um vulcanismo mais explosivo originando domos traquíticos *s.l.* e consideráveis depósitos pomíticos de queda. Encontram-se, também, neste estratovulcão uma série de cones de escórias e domos com escoadas lávicas associadas, instalados, quer nas falhas radiais ao maciço, quer e ao longo de fracturas de direção regional NW-SE.

O Vulcão do Pico Alto é caracterizado por uma alternância de produtos piroclásticos e escoadas lávicas de natureza traquítica a pantelerítica, sob a forma de domos e derrames lávicos associados. Pela sua singularidade, destaca-se ainda a presença de uma pequena escoada de obsidiana. Os ignimbritos das Lajes e de São Mateus, com 19.600 e 18.600 anos, respectivamente, são associados a uma fase explosiva deste vulcão. Parte dos bordos da cratera de subsidência encontra-se soterrada por domos e escoadas lávicas traquíticas de idade inferior a 19 000 anos (França *et al*., 2003). Segundo Self (1974), a idade máxima para o Vulcão do Pico Alto e para o episódio de vulcanismo mais recente é 100 000 anos e 1 000 anos, respectivamente.

A Zona Basáltica Fissural, dominada essencialmente por vulcanismo basáltico, do tipo havaiano a estromboliano, engloba o vulcanismo histórico de 1761. Nesta zona destacam-se ainda os episódios recentes de vulcanismo que originaram o Algar do

Carvão, com idade de 2115±115 anos B.P. (Zbyszewski *et al*., 1971) e a Fonte do Bastardo.

2.6.3 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA GRACIOSA

2.6.3.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha Graciosa, com uma forma alongada, condicionada pelo Rifte da Terceira, abrange uma área superficial na ordem dos 61,6 km^2 e apresenta um comprimento de cerca de 13 km e uma largura de cerca de 7 km. O relevo apresenta cotas relativamente baixas, quando comparadas com as das outras ilhas do arquipélago. O ponto de altitude máxima (402 m) está situado a Sul do vértice geodésico da Caldeira.

Do ponto de vista geomorfológico, individualizam-se quatro zonas com características distintas (Ferreira, 1968; Zbyszewski, 1970; Zbyszewski *et al*., 1972; Gaspar, 1996): (1) a Plataforma NW, apresentando vários cones de escórias dispersos numa vasta área de baixa altitude e de relevos suaves; (2) a Serra da Fontes com alongamento NW-SE e flancos E e S bastante escarpados; (3) o Maciço Centro-meridional que é constituído pela Serra Dormida e pela Serra Branca e (4) o Maciço da Caldeira que corresponde a um vulcão central com caldeira, situado na extremidade SE da ilha (Figura 2.13).

A Plataforma NW situa-se na extremidade Noroeste da ilha. É uma zona de baixa altitude, com cotas a rondar os 50 m, com pouco mais de 30 cones de escórias e cuja altitude máxima (181 m) está expressa no Cabeço das Caldeiras.

A Serra das Fontes, situada no centro da ilha, a NE do Maciço centro-meridional, tem uma forma arredondada, altura máxima de 375 m (Pico do Facho) e apresenta vertentes S e E abruptas, o que segundo Gaspar (1996) sugere a existência de uma escarpa de falha.

O Maciço Centro-meridional, também designado por unidade geomorfológica Serra Branca - Serra Dormida, é composto por dois maciços separados por uma depressão NW-SE. No topo da Serra Dormida podem observar-se alguns cones, com crateras, alinhados segundo NW-SE. A Serra Dormida apresenta uma altitude máxima (308 m) no Pico do Timão. A vertente SW da Serra Branca, de declive abrupto, constitui uma considerável escarpa de falha que se prolonga até ao mar. A cota máxima (360 m) da Serra Branca é o Pico das Caldeirinhas.

O Maciço da Caldeira, no extremo SE da ilha, apresenta um alongamento NW-SE e é limitado a NW por uma depressão que se estende desde a costa Norte à costa

Sul. No topo do maciço encontra-se uma caldeira, com a mesma orientação do maciço, forma oval e profundidade de 350m, que apresenta 1625 m de comprimento e 875 m de largura (Zbyszewski *et al.,* 1972). No interior da caldeira existem cones de pequena dimensão e na sua extremidade SE temos ainda uma cavidade vulcânica, a Furna do Enxofre, que possui um lago e um campo fumarólico no seu interior.

A rede hidrográfica da ilha Graciosa, um pouco dispersa, tem maior representatividade nas zonas montanhosas, isto é, no Maciço da Caldeira e no Maciço Centro-meridional. Na restante ilha, a rede hidrográfica é incipiente e dispersa, com uma densidade de drenagem muito baixa.

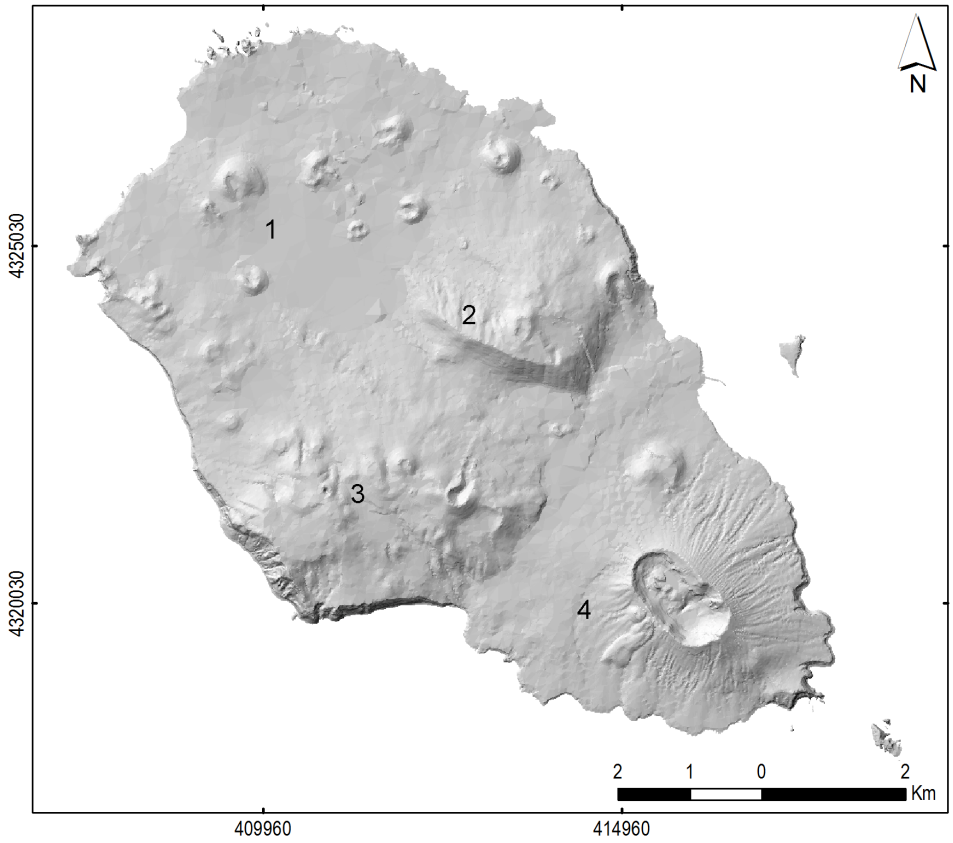


Figura 2.13 | Modelo digital de terreno da ilha Graciosa, com indicação das quatro unidades geomorfológicas da ilha: 1 - Plataforma NW, 2 - Serra das Fontes, 3 - Maciço Centro-meridional e 4 - Maciço da Caldeira.

O regime geodinâmico regional encontra-se bem expresso nas principais estruturas tectónicas identificadas na Graciosa (Figura 2.14). O sistema dominante de direcção NW-SE inclui duas famílias de falhas inclinadas para NE e SW, respectivamente, e apresenta uma acentuada componente normal, como se pode observar pela notável expressão geomorfológica das escarpas de falha de direcção

geral NW-SE, possivelmente associada a uma componente de desligamento direito. Um segundo conjunto de fracturas revela direcção aproximada N-S e engloba falhas inclinadas para E e W, caracterizadas por possuir movimentação normal. Tais sistemas de falhas controlaram fortemente o vulcanismo registado na Graciosa, o que é demonstrado pela direcção da maioria dos filões, pelos alinhamentos dos cones de escórias e pela morfologia da caldeira do Vulcão Central. A ilha é ainda afectada por um vasto leque de acidentes tectónicos com orientações que variam desde NNE-SSW a E-W, alguns dos quais com movimentação inversa.

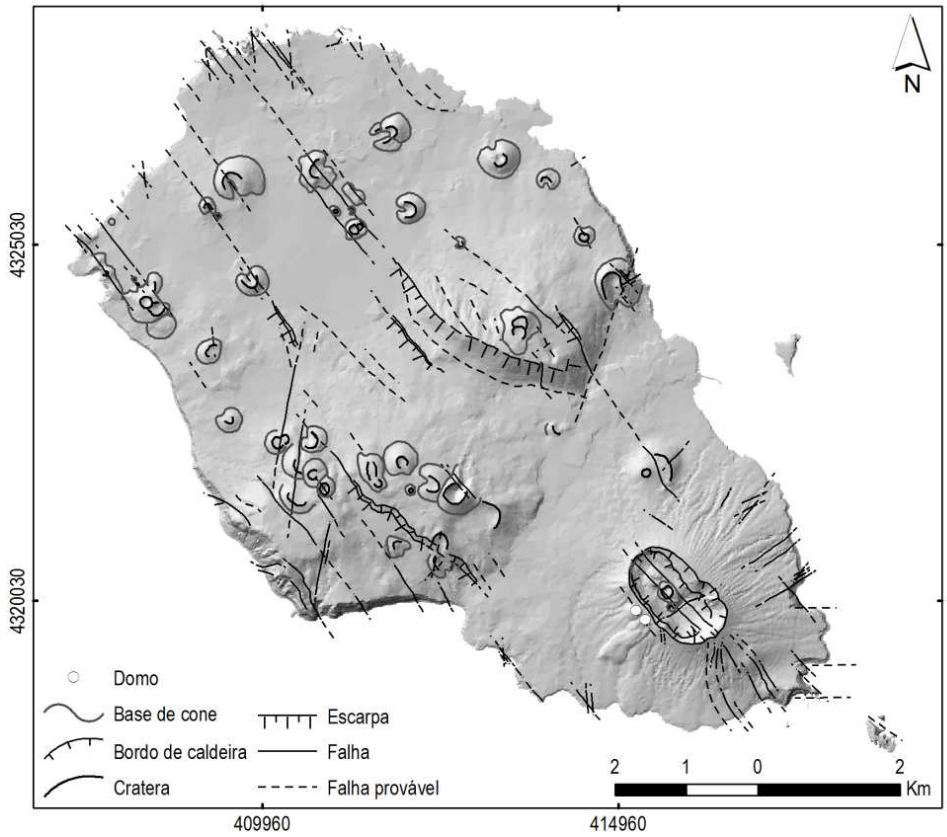


Figura 2.14 | Esboço vulcano - tectónico da ilha Graciosa (Gaspar, 1995 & 1996).

2.6.3.2 | Geologia

O registo geológico da ilha Graciosa, com uma idade superior a 620.000 anos, consta de uma sucessão de produtos vulcânicos organizados em três Complexos Vulcânicos(Figura 2.15), do mais antigo para o mais recente (Gaspar, 1996):

Complexo Vulcânico da Serra das Fontes - Inclui as mais antigas rochas aflorantes conhecidas na ilha Graciosa, que correspondem a uma sucessão de

escoadas lávicas subaéreas de natureza basáltica (*s.l.*) relacionadas com um antigo vulcão em escudo (620.000±120.000, Féraud *et al*., 1980).

Complexo Vulcânico da Serra Branca - Inclui as rochas correspondentes ao núcleo do designado Maciço Centro - Meridional (35.0000±40.000, Féraud *et al*., 1980). Predominam os produtos vulcânicos evoluídos que incluem espessas escoadas lávicas e numerosos depósitos vulcaniclásticos de natureza traquítica (*s.l.*). Nestes últimos, englobam-se depósitos de pedra-pomes de queda, depósitos piroclásticos de fluxo e, possivelmente, lahars. No topo da sequência são comuns os depósitos epiclásticos, nalguns casos extremamente compactados, formando brechas. Os produtos do Complexo Vulcânico da Serra Branca encontram-se geralmente cobertos por escoadas lávicas e piroclastos de formações mais recentes (Gaspar, 1996).

Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central - É o complexo vulcânico mais recente da ilha Graciosa. Neste complexo distinguem-se duas unidades que têm vindo a ser edificadas simultaneamente, diferindo entre si, quanto ao enquadramento geológico e quanto ao tipo de actividade vulcânica predominante (Gaspar, 1996):

Unidade da Vitória - É formada por piroclastos e as escoadas lávicas de natureza basáltica (*s.l.*) que constituem a Plataforma NW e cobrem parcialmente a Serra das Fontes e o Maciço Centro-meridional.

Unidade do Vulcão Central - É constituída pelos depósitos vulcânicos associados aos diferentes centros eruptivos da região SE da ilha, onde pontuam um vulcão central com caldeira, cones de escórias e cones de tufos. Esta formação inclui produtos de natureza basáltica (*s.l.*) a traquítica (*s.l.*), com origem numa grande diversidade de estilos eruptivos, o que se traduz na presença de escoadas lávicas e depósitos piroclásticos subsuperficiais de queda e de fluxo.

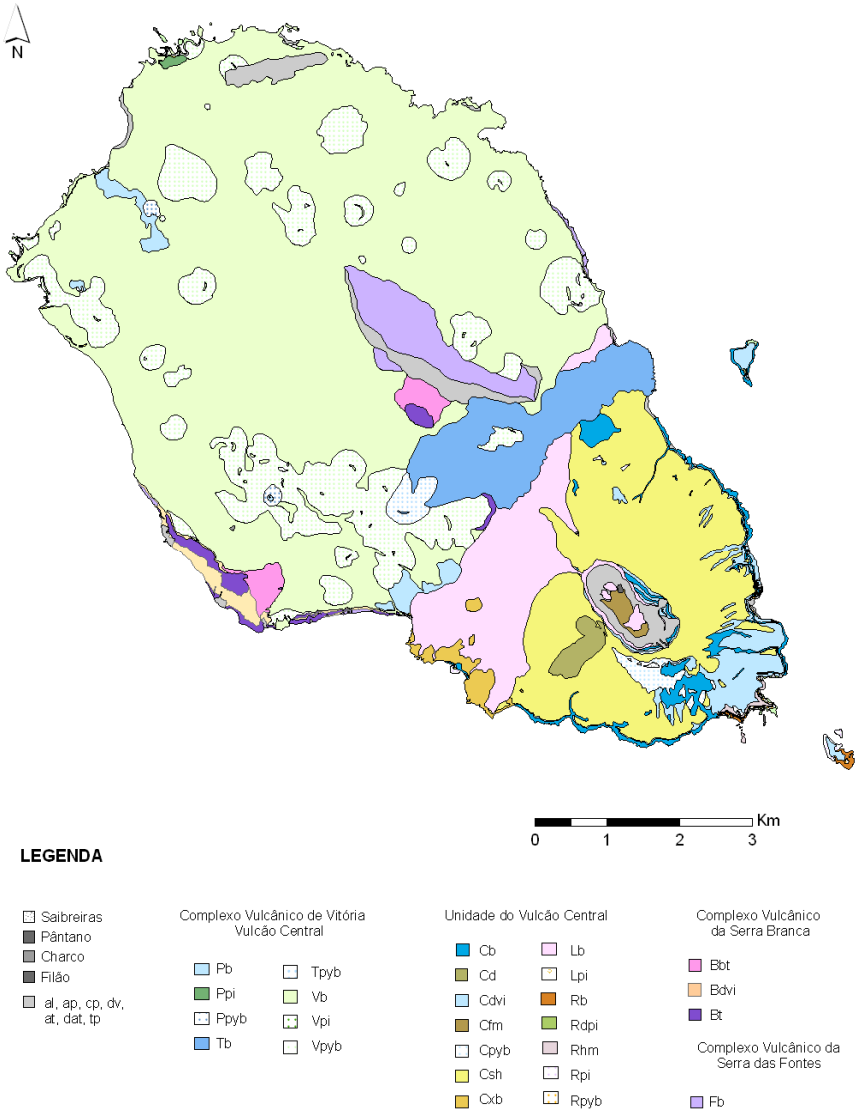


Figura 2.15 | Carta geológica da ilha Graciosa (Gaspar, 1996).

2.6.4 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA DO FAIAL

2.6.4.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha do Faial tem uma forma aproximadamente pentagonal e alonga-se na direcção WNW-ESE, abrangendo uma área superficial de 173,1 km^2, com comprimento e largura máximos de 21 km e 16 km, respectivamente. A cota máxima (1043 m) é atingida no vértice geodésico do Cabeço Gordo (Coutinho, 2000).

Os domínios geomorfológicos principais na ilha do Faial, resultantes da interacção complexa, entre o vulcanismo e a actividade tectónica são (Figura 2.16): (1) Vulcão da Caldeira, (2) Graben de Pedro Miguel, (3) Região Horta - Flamengos - Feteira e (4) Península do Capelo.

O Vulcão da Caldeira é um aparelho vulcânico compósito, situado na zona central da ilha, cujas vertentes apresentam pendores na ordem dos 6^{o} para altitudes inferiores a 200 m, aumentando de inclinação até a uma ordem superior aos 19^{o} aos 800 m - 1000 m. No topo do vulcão instalou-se uma caldeira com cerca de 380 m de profundidade, 2 km de diâmetro no topo e 1 km de diâmetro na base. No interior da caldeira edificaram-se um domo e cone de escórias com cerca de 50 m de altura.

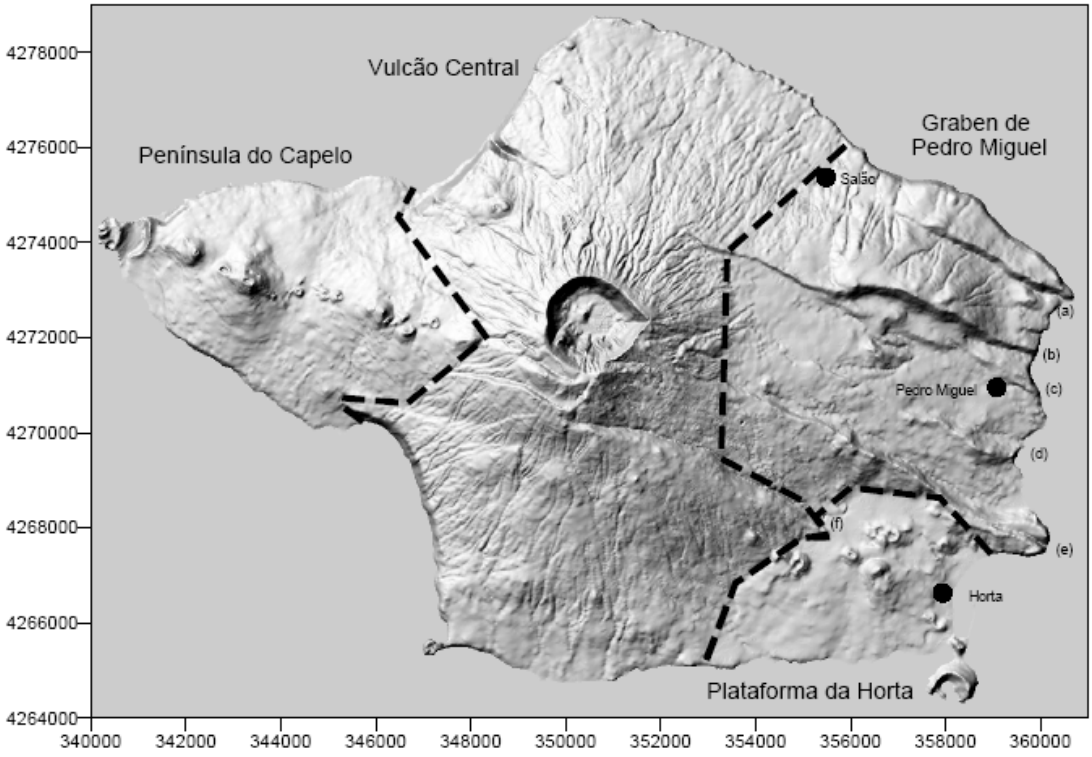


Figura 2.16 | Modelo tridimensional da ilha do Faial, onde se distinguem, esquematicamente, quatro regiões geomorfológicas: o Vulcão Central, o Graben de Pedro Miguel, a Plataforma da Horta e a Península do Capelo (Madeira, 1998).

O Graben de Pedro Miguel localiza-se na zona nordeste da ilha e explana-se entre a freguesia do Salão, a norte, e a Lomba da Espalamaca, a sul. É um local tectonicamente condicionado por falhas de orientação WNW-ESE. De norte para sul, temos as falhas da Lomba dos Espalhafatos, da Lomba Grande e do Rato, com escarpas de falha voltadas a sul e as falhas da Rocha Vermelha (Lomba dos Frades -

Lombinha) e da Espalamaca com escarpas voltadas a norte, o que confere ao local uma morfologia em degraus (Madeira, 1998).

A Região Horta - Flamengos-Feteira a SE da ilha do Faial apresenta-se como uma zona mais ou menos aplanada, constituída por escoadas lávicas com esporádicas coberturas pomíticas e de material sedimentar, onde se instalaram um conjunto de cones estrombolianos, o Monte Carneiro (257 m) e ainda um cone de tufo vulcânico, o Monte da Guia (145 m) que teve origem numa erupção submarina do tipo surtsiano.

A Península do Capelo, situada na zona mais recente e mais ocidental da ilha do Faial é constituída por cones vulcânicos monogenéticos, resultantes de vulcanismo basáltico de baixa explosividade. Encontram-se alinhados de NW-SE a WNW-ESE ao longo de uma fractura responsável pela emissão de piroclastos e lavas basálticas *s.l.*, que se estenderam para Norte e para Sul, originando a expansão da ilha primitiva.

A rede hidrográfica da ilha do Faial é mista no sentido em que se apresenta densa, bem encaixada e de padrão radial centrífugo na zona do Vulcão da Caldeira; pouco evoluída e de padrão paralelo, nitidamente condicionado por estruturas tectónicas (Madeira, 1998) no Graben de Pedro Miguel. Na Região Horta - Flamengos - Feteira a drenagem é feita exclusivamente pela Ribeira dos Flamengos e pela Ribeira da Granja; na península do Capelo não existe uma rede hidrográfica organizada, fazendo-se a drenagem superficial ao longo de estruturas relacionadas com a morfologia dos derrames.

De entre as principais estruturas tectónicas da ilha do Faial destacam-se dois sistemas de falhas principais, de direções gerais WNW-ESE e NNW-SSE a NW-SE (Agostinho, 1936; Berthois, 1953; Taziefff, 1959; Zbyszewski e Veiga Ferreira, 1959; Zbyszewski *et al*., 1959; Chovelon, 1982; Serralheiro *et al*., 1989; Madeira e Ribeiro, 1990; Madeira, 1991a; 1991b & 1998) (Figura 2.17).

Segundo Madeira (1998) estas estruturas condicionam a localização da actividade vulcânica que originou a ilha, sendo notória a relação entre as mesmas e algumas formas de relevo, em particular na região oriental, dominada por imponentes escarpas de falhas.

O sistema de falhas dominante é o de orientação WNW-ESE, bem evidenciado pela série de escarpas de falha e patamares que se destacam na parte oriental da ilha e correspondem a acidentes tectónicos sintéticos com o troço ocidental da fronteira de placas Euroasiática e Africana. Na parte ocidental da ilha, a mais importante manifestação deste sistema é traduzida pelo alinhamento de cones de escórias entre o

Cabeço dos Trinta e o Vulcão dos Capelinhos, que se dispõem ao longo de uma série de fracturas em *échelon* direito, materializando a Falha do Capelo. Esta falha é particularmente relevante no contexto do vulcanismo recente da ilha do Faial, em particular no que se refere às erupções históricas (Cabeço do Fogo em 1672 e Capelinhos em 1957/8), pois ambas se localizaram ao longo do seu eixo. Segundo Madeira (1998), este é um sistema distensivo com desligamento direito normal, estimando-se, para algumas falhas, componentes verticais máximos da ordem dos 200 m e horizontais de 168 m. Segundo aquele autor, o *slip rate* neste sistema poderá ascender a 0,43 cm/ano, de acordo com o máximo estimado para a Falha da Rocha Vermelha.

Segundo Madeira (1998) subsistem, ainda estruturas com direcções NNW-SSE a NW-SE, falhas normais esquerdas, com menor expressão morfológica.

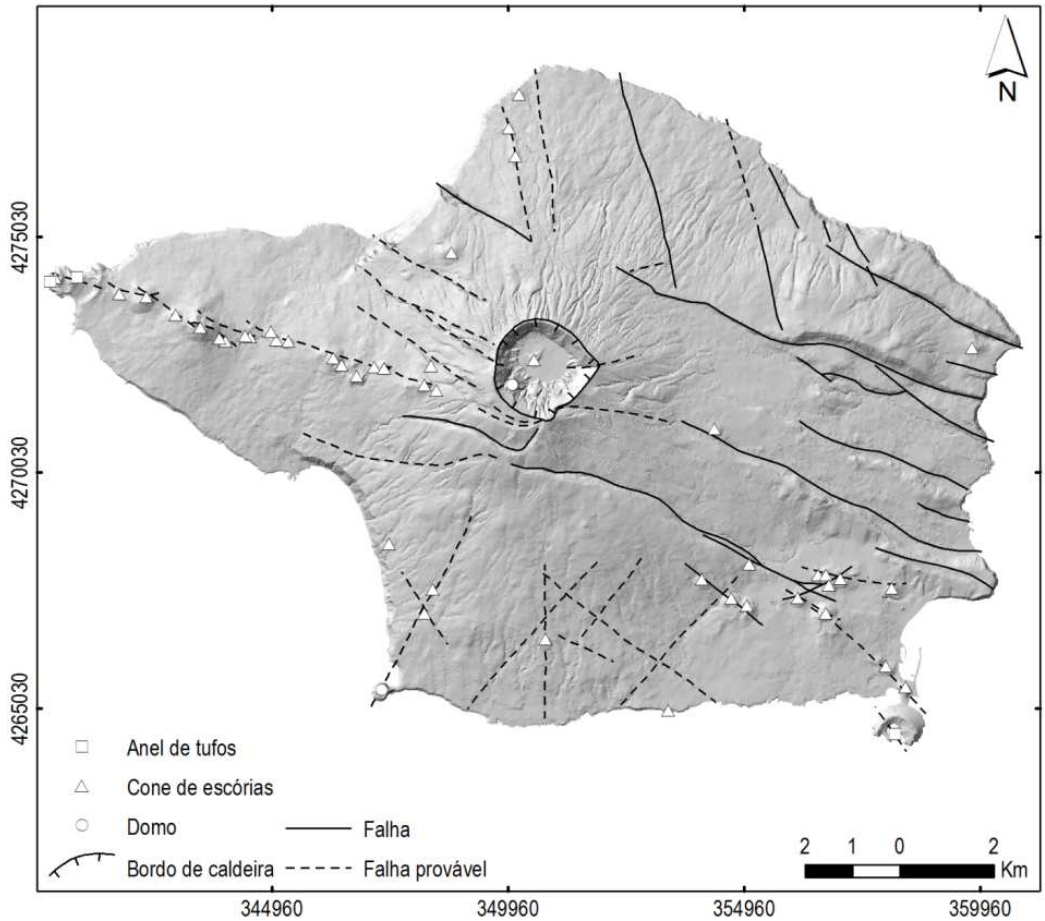


Figura 2.17 | Localização dos diversos centros eruptivos e principais estruturas tectónicas presentes na ilha do Faial (tectónica modificada de Madeira (1998). de Queiroz *et al*., 1995, Queiroz, 1997 & Gaspar *et al*. 2003).

2.6.4.2 | Geologia

Pacheco (2001) propõe para a formação da ilha do Faial 4 fases distintas: a primeira fase corresponde à edificação do Vulcão da Ribeirinha, na zona nordeste da ilha; a segunda fase teve início com a emergência do Vulcão Central da Caldeira, cujos depósitos correspondem ao Complexo Vulcânico dos Cedros e que foi em parte contemporânea do Vulcão da Ribeirinha, que posteriormente se terá extinguido. Mais recentemente, na terceira fase desenvolveu-se o vulcanismo da Plataforma da Horta, que corresponde à Formação do Almoxarife, sendo a quarta fase de formação da ilha representada pela Península do Capelo. Estas duas últimas fases são contemporâneas da evolução recente do Vulcão Central da Caldeira (Figuras 2.18 e 2.20).

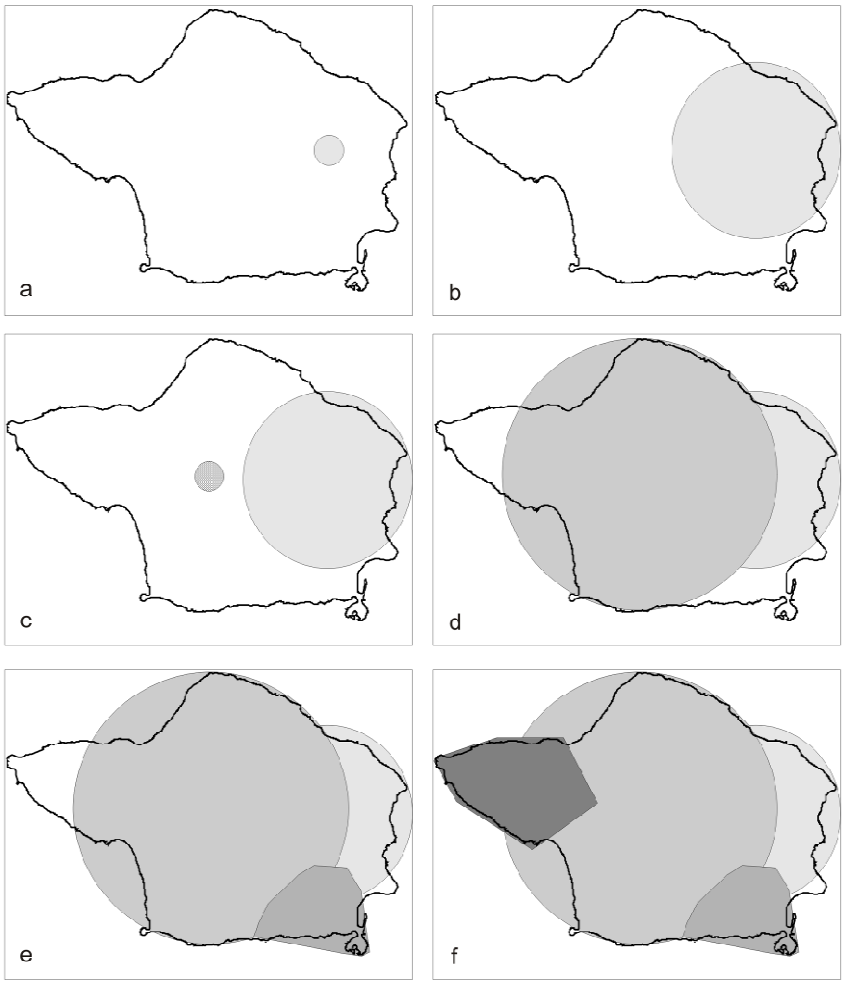


Figura 2.18 | Esquema evolutivo das fases de formação da ilha do Faial (Pacheco, 2001). a) fase de actividade submarina e emergente do Vulcão da Ribeirinha; b) desenvolvimento do edifício do Vulcão da Ribeirinha; c) fase de actividade submarina e/ou emergente do Vulcão Central da Caldeira; d) desenvolvimento do edifício do Vulcão Central da Caldeira; e) instalação da Plataforma da Horta; e f) instalação da Península do Capelo.

Serralheiro *et al*. (1989) estabeleceram um conjunto de formações e complexos para descrever a geologia da ilha do Faial (Figuras 2.19 e 2.20), nomeadamente: (1) Complexo da Ribeirinha, (2) Complexo dos Cedros, (3) Formação do Almoxarife, (4) Formação da Caldeira e (5) Complexo do Capelo, por ordem decrescente de idades.

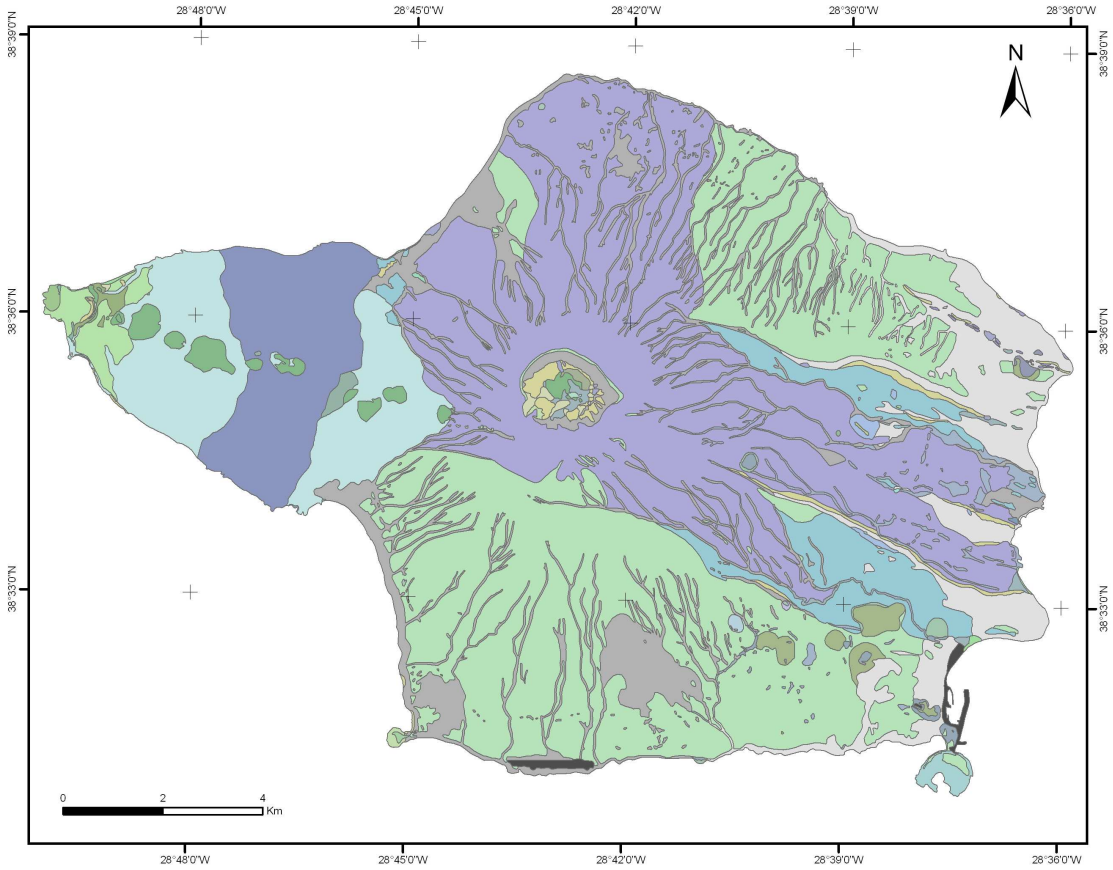


Figura 2.19 | Carta geológica da ilha do Faial (Serralheiro *et al*., 1989).

O Complexo Vulcânico da Ribeirinha, a estrutura vulcânica mais antiga da ilha do Faial, tem cerca de 800.000 anos (Feraud, 1977 *in* Pacheco, 2001). Este complexo é formado pelos produtos vulcânicos emitidos pelo Vulcão da Ribeirinha, constituídos essencialmente por escoadas lávicas de composição basáltica, encontrando-se também alguns depósitos de escórias e de produtos de natureza traquítica pouco significativos (Serralheiro *et al*., 1989). O Vulcão da Ribeirinha, actualmente extinto e muito desmantelado, terá sido um vulcão central em escudo localizado no centro do Graben de Pedro Miguel (Pacheco, 2001).

O Complexo Vulcânico dos Cedros é constituído pelos produtos associados à edificação do Vulcão Central da Caldeira, que terá sido iniciada há mais de 410.000 anos (Baubron, 1981 *in* Serralheiro *et al*., 1989). Este vulcão central apresenta duas fases de edificação com comportamentos eruptivos distintos. Na primeira fase, que corresponde ao Grupo Inferior, a sua actividade foi predominantemente marcada pela

emissão de produtos de natureza basáltica (*s.l.*). A segunda fase, mais recente, designada de Grupo Superior, teve início há aproximadamente 16.000 anos e é caracterizada por erupções mais explosivas com a emissão de produtos de natureza traquítica (*s.l.*) (Pacheco, 2001).

O Complexo Vulcânico da Plataforma da Horta é formado pelos produtos que compõem a Formação do Almoxarife. Este complexo, correspondente à terceira fase de formação da ilha, é caracterizado por vulcanismo fissural de natureza basáltica. Os produtos emitidos englobam cones de escórias e escoadas lávicas associadas, bem como um cone de tufos hidromagmáticos, o Monte da Guia (Madeira, 1998; Pacheco, 2001).

O Complexo Vulcânico do Capelo, a unidade mais recente da ilha, resulta do vulcanismo instalado na zona fissural de direcção WNW-ESSE; é caracterizado pelo vulcanismo fissural basáltico desenvolvido na zona ocidental da ilha. A actividade vulcânica deste complexo é contemporânea do Grupo Superior do Complexo dos Cedros. A Formação do Capelo é constituída por cones de escórias subaéreos, escoadas lávicas associadas e cones de tufos hidromagmáticos, nomeadamente, Costado da Nau e Capelinhos, ambos gerados no decurso da actividade vulcânica submarina, este último pela erupção dos Capelinhos em 1957-1958.

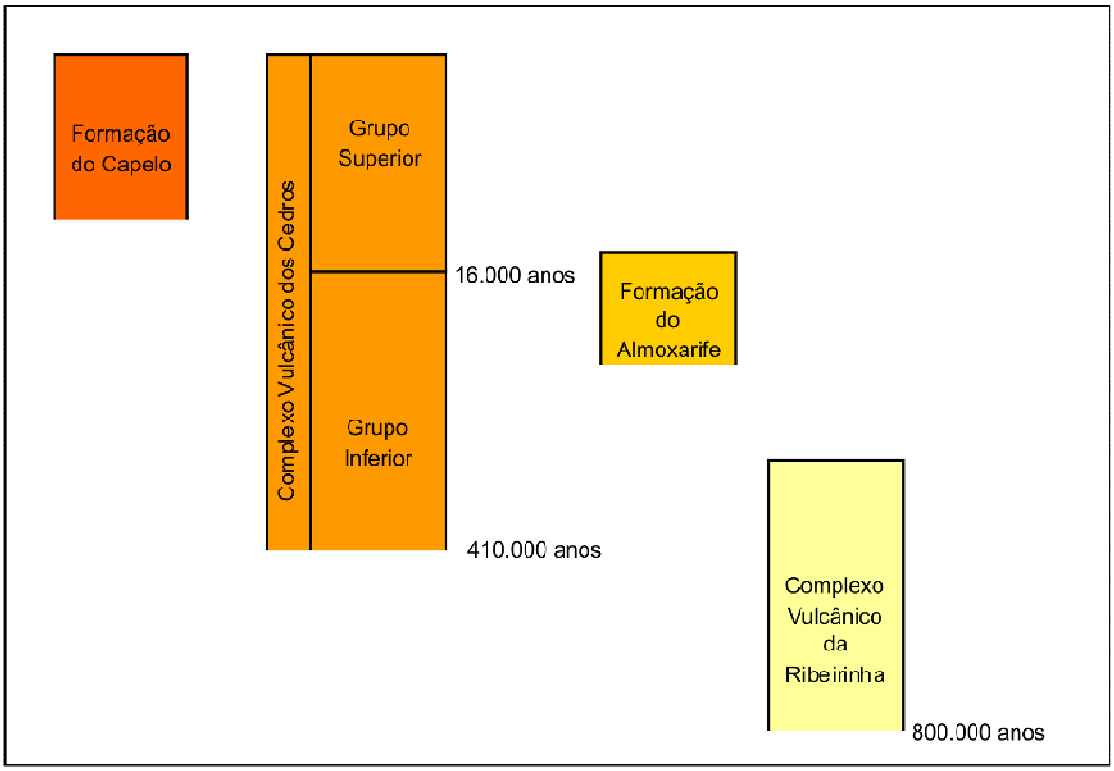


Figura 2.20 | Escala vulcanoestratigráfica da ilha do Faial (Pacheco, 2001).

2.6.5 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA DE SÃO JORGE

2.6.5.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha de São Jorge apresenta um comprimento de 55 km e uma largura máxima de 7 km, com uma área que ronda os 246 km^2 (Madeira, 1998), apresentando a sua cota máxima aos 1053 m, no Pico da Esperança.

Segundo Madeira (1998), geomorfologicamente a ilha é dividida em duas regiões distintas (Figura 2.21): (1) a Região Ocidental, caracterizada por uma cadeia de vulcões activos e topografia mais acidentada e (2) a Região Oriental, a mais antiga, com uma morfologia mais suave, em resultado da erosão marinha intensa. Estas unidades encontram-se conceptualmente divididas pela zona da ribeira Seca, que segundo o autor poderá corresponder a uma escarpa de falha recuada e desgas.

A região Ocidental é caracterizada por uma cadeia de cones dispostos segundo a direção WNW-ESE desde a Ponta dos Rosais até à Ribeira Seca, onde se destacam cones relacionados com actividade freatomagmática subaérea (Pico do Areeiro) e submarina (Morro Grande e Morro do Lemos), bem como cones resultantes de actividade estromboliana.

O litoral NE desta região apresenta um traçado rectilíneo, arribas com declives acentuados (45-55º; Madeira, 1998) e alturas de 300 a 400 m. Por sua vez, o litoral SW é mais acidentado, com arribas menos rectilíneas e com alturas variáveis, mas sempre de ordem superior a 100 m, atingindo o máximo de 400 m no Pico dos Cutelos.

Na região Oriental, mais antiga da ilha, a diminuição da atividade vulcânica permitiu a predominância dos processos erosivos marinhos, levando ao recuo do litoral NE até à zona axial da ilha, em traçado aproximadamente rectilíneo. Esse recuo levou à destruição das vertentes estruturais NE dos cones primitivos, reduzindo a largura original da ilha e conduzindo a alturas que vão desde 400 m na Canada das Pontas até cerca de 900 m no vértice geodésico da Pedra Vermelha (Madeira, 1998).

No litoral SW as arribas apresentam 500 a 600 m de altura na zona do Grotão Fundo, descendo até aos 300 m na Ponta dos Monteiros e continuamente até aos 100 - 200 m no Morro. Do Morro até à Ponta do Topo a vertente estrutural desce quase ao nível do mar.

A rede hidrográfica é em regra representada por linhas de água pouco extensas, de padrão mais ou menos paralelo e pouco encaixadas, excepção feita nos

locais onde coincidem com depósitos piroclásticos da região axial. No entanto, na região oriental da ilha há um maior desenvolvimento da rede de drenagem, assumindo, por vezes, um padrão dendrítico.

Figura 2.21 | Modelo digital de terreno da ilha de São Jorge, com indicação das duas unidades geomorfológicas. 1 – Região Ocidental; 2 – Região Ocidental.

A tectónica da ilha de S. Jorge foi analisada de forma detalhada por Madeira (1998). As principais estruturas tectónicas identificadas apresentam a direção regional WNW-ESE (Figura 2.22) e movimentação direita normal. Este sistema surge em quase toda a ilha sendo mais evidente ao longo das cristas vulcânicas da Região Ocidental (zona de Falha dos Picos e segmento dos Picos), apresentando segmentos com vários km de extensão. Em alguns locais estas falhas manifestam tendência para rodar para a direção próxima de E-W, tal como expresso no alinhamento de alguns cones de escórias e escarpas de falha (zona de Falha do Pico do Carvão). Também o traçado das linhas de costa NE e SW parece estar condicionado pela direcção tectónica WNW-ESE.

A direção NNW-SSW, conjugada da anterior, é menos importante e apresenta movimentação esquerda normal. O acidente mais significativo com esta direcção é a falha da Ribeira Seca. Também os segmentos rectilíneos de várias ribeiras, alguns de direcção próxima de N-S, sugerem o controlo estrutural desta família.

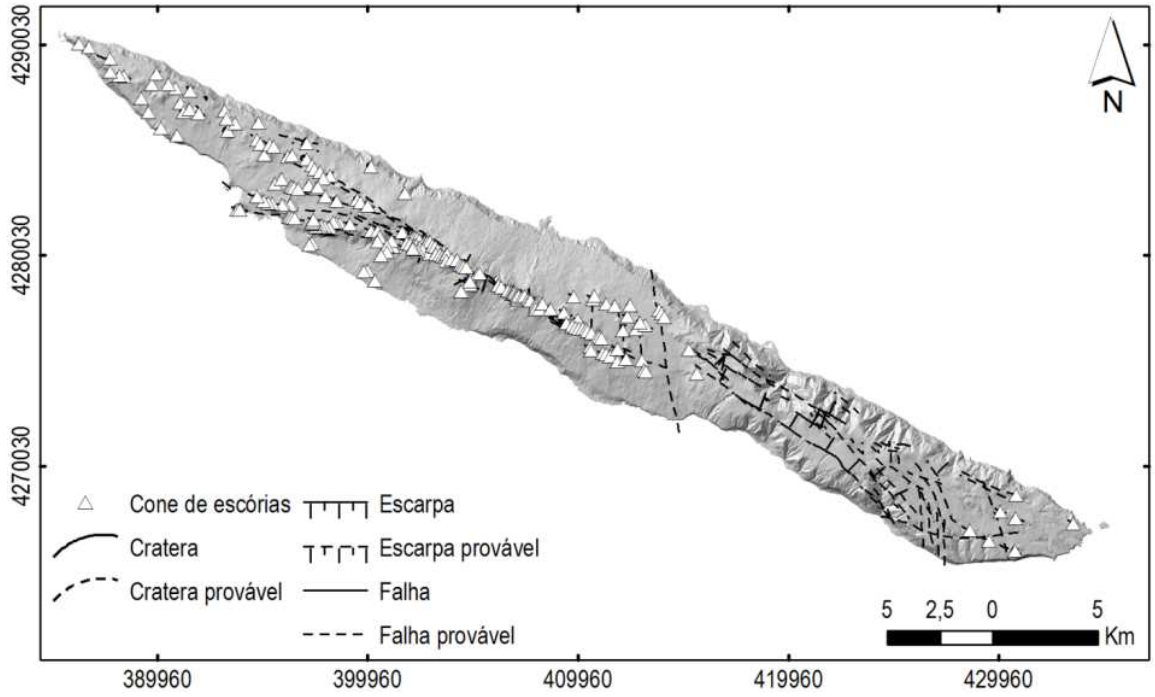


Figura 2.22 | Principais estruturas vulcano-tectónicas da ilha de S. Jorge (adaptado de Madeira, 1998).

2.6.5.2 | Geologia

Madeira (1998), tendo por base trabalhos anteriores (*e.g.* Machado e Forjaz, 1968; Forjaz e Fernandes, 1970; Forjaz *et al*., 1970), redefiniu a vulcanoestratigrafia da ilha, considerando três unidades geológicas principais, da mais antiga para a mais recente (Figura 2.23): (1) o Complexo Vulcânico do Topo, (2) o Complexo Vulcânico dos Rosais e (3) o Complexo Vulcânico das Manadas.

O Complexo Vulcânico do Topo ocupa a parte oriental da ilha e é constituído por lavas basálticas, havaíticas e mugeaníticas, do tipo aa, sendo que os piroclastos estão circunscritos aos cones estrombolianos. É de salientar, ainda, a presença de vários filões de orientação NW-SE e WNW-ESE. Estas estruturas encontram-se associadas a vulcanismo fissural, predominantemente efusivo. Datações por K-Ar, realizadas por Feraud *et al*. (1980), estimam que a actividade vulcânica deste complexo ter-se-á iniciado há mais de 600.000 anos (França *et al*., 2003).

O Complexo Vulcânico dos Rosais situa-se na região ocidental da ilha e é constituído por lavas basálticas e havaíticas, do tipo aa, sendo que os piroclastos encontram-se, quer acumulados sob a forma de cones estrombolianos, quer dispersos, constituindo depósitos. A idade deste complexo vulcânico é ainda uma incógnita, sabendo-se apenas que é mais antigo do que o Complexo Vulcânico das Manadas.

O Complexo Vulcânico das Manadas ocupa a parte central da ilha e encontra-se sobrejacente aos complexos vulcânicos anteriores. Apresenta uma actividade vulcânica fissural com cones de escórias alinhados ao longo de falhas WNW-ESE e NNW-SSE. Para além dos cones estrombolianos, há a salientar a presença de dois cones surtsianos na região, o Morro do Lemos e o Morro Velho, assinalados pela palagonitização, em maior ou menor grau, dos piroclastos submarinos (França *et al*., 2003) e, ainda, crateras de explosão e cones do tipo *tuff rings* produtos de actividade freatomagmática (Madeira, 1998).

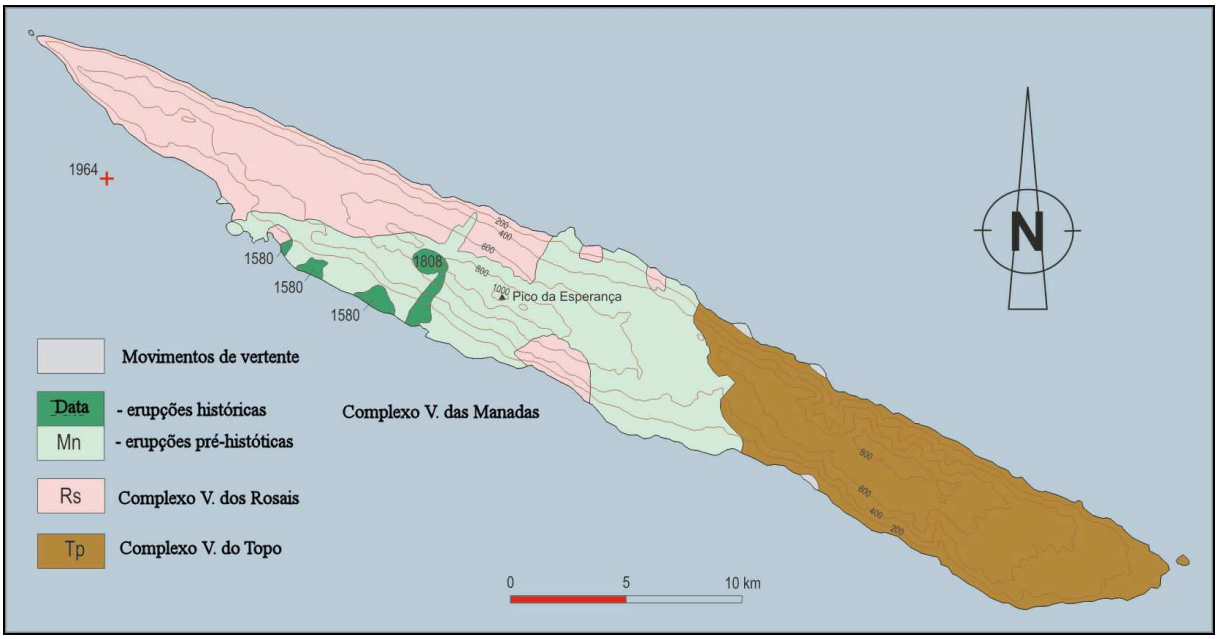


Figura 2.23 | Carta geológica da Ilha de São Jorge (adaptado de Madeira, 1998).

2.6.6 | Caracterização geológica da ilha do Pico

2.6.6.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha do Pico, com uma área de 447 Km^2, apresenta comprimento e largura máximos de 46 km e 16 km, respectivamente. Tem uma forma alongada na direcção WNW-ESSE, mais larga a oeste e estreitando para este e possui o ponto de maior altitude do arquipélago e território português, situado no vértice geodésico do Piquinho, no topo do Vulcão do Pico, à cota de 2351 m.

Segundo Nunes (1999), a rede hidrográfica da ilha do Pico tem uma distribuição heterogénea. Na zona central da ilha observa-se uma maior densidade de linhas de água num padrão paralelo. O padrão paralelo a sub-paralelo pode também ser observado no Planalto da Achada. No que concerne ao Vulcão do Topo a rede hidrográfica apresenta-se num padrão radial centrífugo. “Na Montanha do Pico, a

natureza geológica dos terrenos e a sua extrema juventude não permitem identificar, com clareza, um padrão espacial à escala do edifício vulcânico.” (Nunes, 1999).

Geomorfologicamente podem individualizar-se três regiões principais na ilha do Pico, nomeadamente o (1) estratovulcão da Montanha do Pico, a ocidente, (2) o Planalto da Achada, que se estende desde a Montanha do Pico até à extremidade oriental da ilha, constituído por cones de escórias e de spatters alinhados segundo a direcção WNW-ESE e (3) Vulcão em escudo do Topo, situado na costa sul da ilha, sensivelmente a ESE da Montanha do Pico (Figura 2.24).

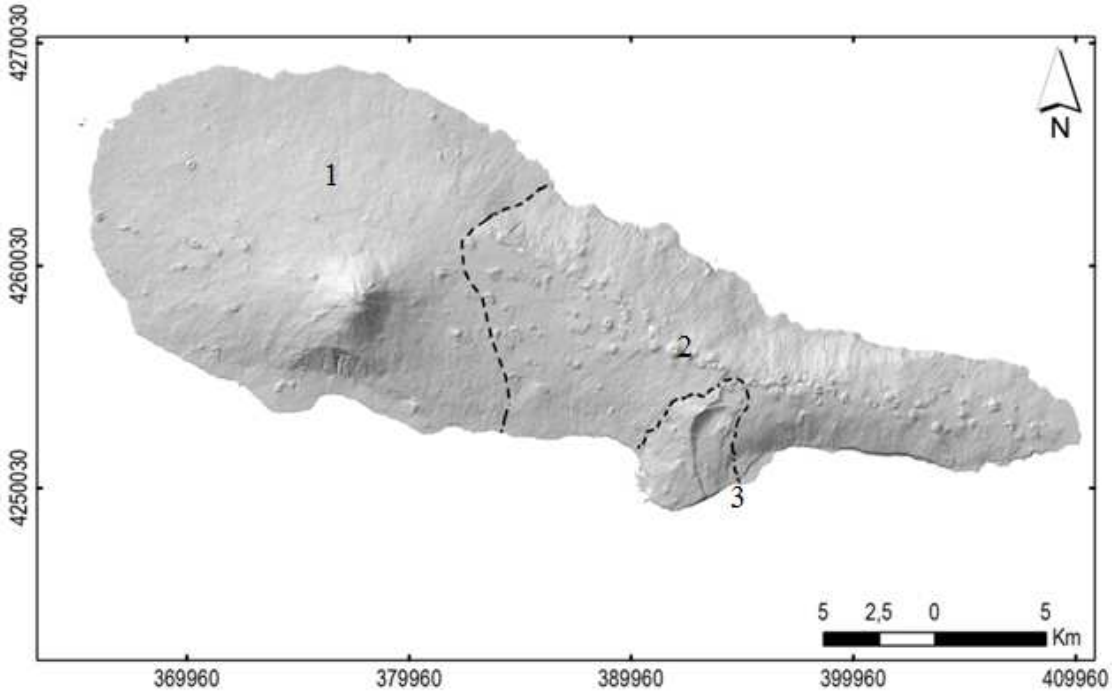


Figura 2.24 | Modelo digital de terreno da ilha do Pico, com indicação das três unidades geomorfológicas: 1 – Montanha do Pico; 2 – Planalto da Achada; e 3 – Vulcão do Topo.

O estratovulcão da Montanha do Pico corresponde a um vulcão com um diâmetro máximo da base de 16 km, ao nível do mar e uma altitude de 2351m. A sua morfologia actual deve-se à ocorrência de inúmeras erupções do tipo havaiano e estromboliano, bem como, aos movimentos de massa na parte superior do cone e à subsidência da cratera.

A cratera principal a 2250 m de altitude apresenta uma forma circular, com um diâmetro compreendido entre os 550 a 590m. A oeste e a sul as paredes da cratera apresentam cerca de 30 m de altura, mas diversos episódios concorreram para o desmoronamento das vertentes norte e este da cratera e dos flancos do estratovulcão, conduzindo à formação de depósitos de vertente (Areeiro de Santa Luzia, Quebrada do Norte, do Curral e da Terça).

Na segunda fase do último episódio vulcânico, de características fissurais e direcção N115^{o}W (França *et al*., 2003), que ocorreu no topo da Montanha do Pico, instalou-se no interior da cratera um cone lávico de 125m de altura designado por Piquinho.

Nas imediações do aparelho vulcânico principal encontram-se cerca de 170 cones de escórias e spatters dispostos radialmente. Ainda que muitas vezes os cones se encontrem alinhados na direção WNW-ESE, constata-se que há uma relação inversamente proporcional entre o número de cones e a altitude (França *et al*., 2003).

O Planalto da Achada estende-se desde o lado E do vulcão da Montanha do Pico até à Ponta da Ilha; apresenta-se sob a forma de uma zona de topo aplanado cuja altitude vai progressivamente diminuindo para oriente e cujas vertentes apresentam inclinações acentuadas.

No Planalto da Achada existem muitos cones vulcânicos distribuídos por duas direcções preferenciais. Os cones vulcânicos estão alinhados segundo a direcção N60^{o}W entre o Cabeço do Piquinho e o Cabeço do Escalvado, numa extensão de aproximadamente 12 km. Depois do Cabeço do Escalvado há uma inflexão do sistema fissural até à Ponta da Ilha, conduzindo a uma reorientação dos cones segundo a direcção N80^{o}W (França *et al*., 2003). Grande parte dos cones presentes são cones de escórias, embora haja também alguns spatters.

Salienta-se ainda a presença de uma sequência de *pit craters*, como o Cabeço Sardos - Caldeira. Nesta região os maiores cones de escórias são o Grotões (1008 m) e o Landroal (887 m).

O Vulcão do Topo com uma área de cerca de 18 km^{2} e uma altura de 1022 m é um vulcão em escudo, resultante essencialmente da sobreposição de escoadas lávicas. Apresenta duas importantes depressões a (1) Caldeira de Santa Bárbara, com uma forma circular que corresponde a uma caldeira de abatimento ligeiramente basculada para sul e (2) as Terras Chãs.

No interior das depressões há a registar edificações de cones secundários associados a acidentes tectónicos NE-SW que afetaram a escarpa da falha do Arrife e o próprio bordo NE das Terras Chãs.

A NW e a S do Vulcão do Topo regista-se um maior número de cones adventícios, a salientar, o “spatter cone 405”, responsável pela emissão de lavas que originou a mais recente fajã lávica, a Fajã das Lajes.

As principais famílias de estruturas tectónicas na ilha do Pico apresentam orientações gerais WNW-ESE, NNW-SSE e NE-SW (Madeira, 1998; Nunes, 1999; França, 2000) (Figura 2.25). Os acidentes tectónicos dominantes pertencem à primeira destas famílias e correspondem predominantemente a desligamentos direitos normais, sendo as Falhas do Capitão e do Topo as principais estruturas (Madeira, 1998). Os acidentes de orientação geral NNW-SSE são os menos frequentes na ilha do Pico e, na sua maioria, correspondem a desligamentos esquerdos com componente de movimentação normal, destacando-se nesta família a fractura da Lombada de Fogo-São João (erupções de 1718) e o alinhamento de cones da região de Santo António (Madeira 1998). As estruturas NW-SE parecem corresponder essencialmente a acidentes radiais aos vulcões central da Montanha do Pico e em escudo do Topo, embora possam patentear uma movimentação normal, associada a uma componente de desligamento. A maioria dos corpos filonianos da ilha do Pico evidencia uma orientação geral NE-SW a N-S, compatível com este grupo de estruturas tectónicas (Nunes, 1999).

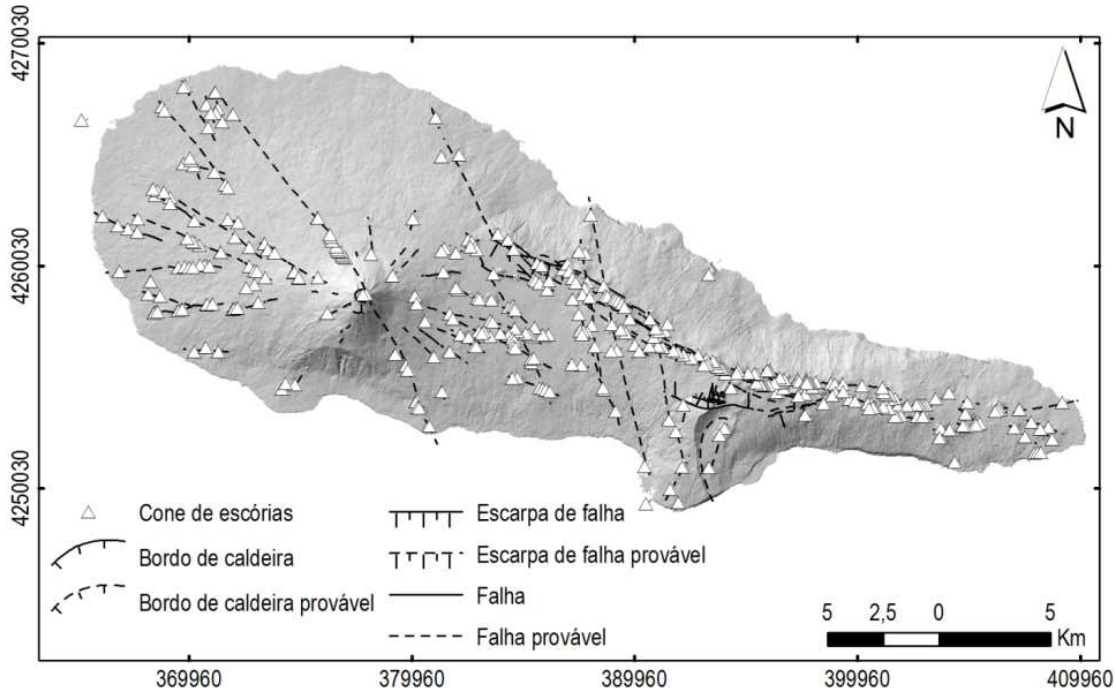


Figura 2.25 | Principais estruturas vulcano-tectónicas da ilha do Pico (adaptado de Madeira, 1998 & Nunes *et al.*, 1999).

2.6.6.2 | Geologia

A ilha do Pico é constituída por três complexos vulcânicos: (1) o Complexo Vulcânico Topo - Lajes, (2) o Complexo Vulcânico São Roque - Piedade e (3) o Complexo Vulcânico da Montanha, por ordem decrescente de idades (Figura 2.26).

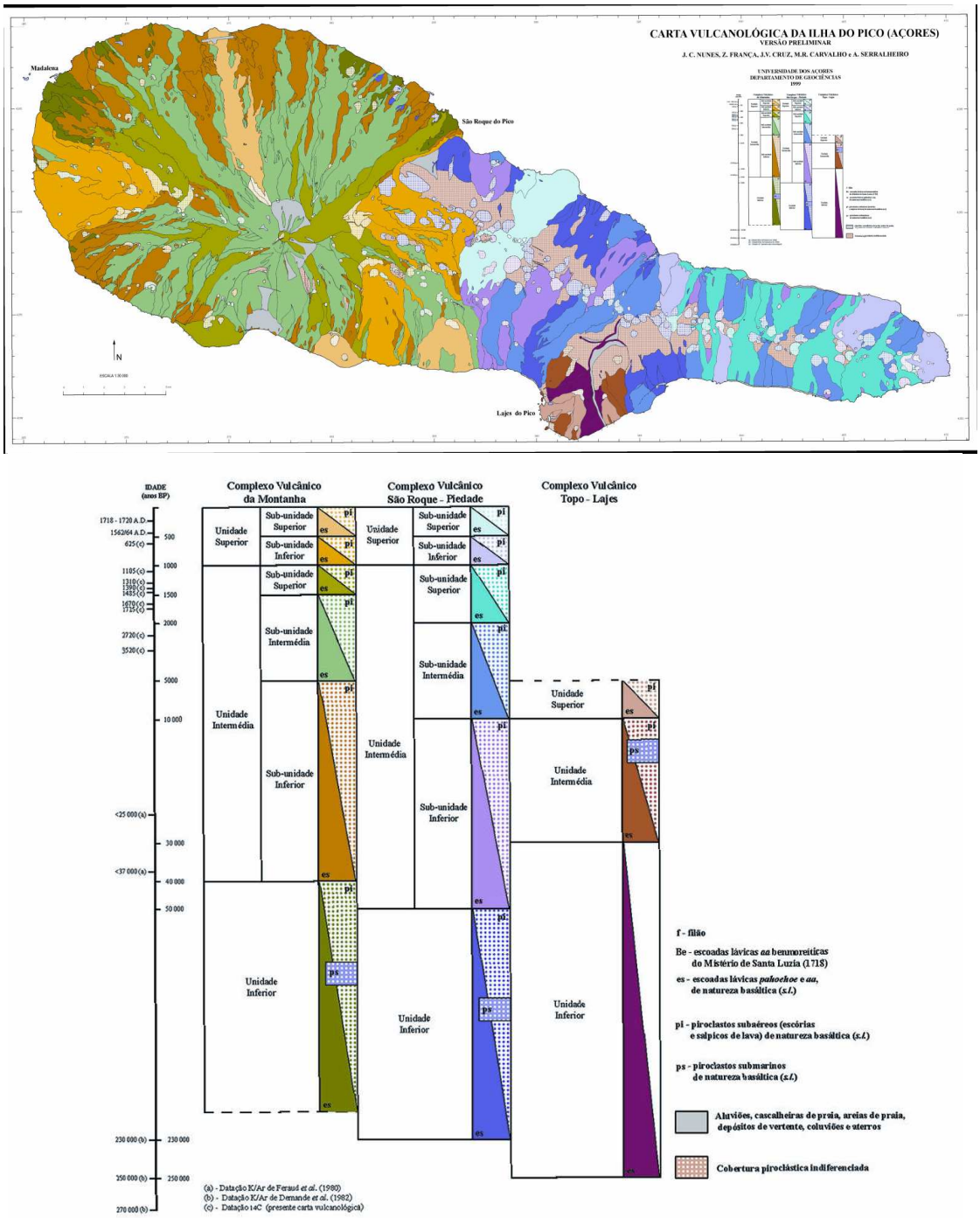


Figura 2.26 | Carta Vulcanológica e ampliação da vulcanoestratigrafia da ilha do Pico (Nunes *et al.*, 1999).

O complexo Vulcânico Topo-Lajes, localizado na costa sul, engloba o vulcão do Topo que se soergueu por um incremento da produtividade lávica há cerca de 300.000 anos. O aumento da actividade ficou registado pelas inúmeras escoadas pahoehoe compostas, empilhadas, com uma espessura de centenas de metros. Com o decorrer da actividade, o vulcanismo torna-se progressivamente mais explosivo, manifestado por erupções estrombolianas em torno do vulcão, segundo alinhamentos NE-SW a

NNE-SSW, e no topo, a partir da caldeira. Estima-se que a actividade do vulcão do Topo terá cessado há cerca de 5.000 anos (França *et al*., 2003).

O Complexo Vulcânico São Roque-Piedade é composto por uma cordilheira edificada durante a fase subaérea das erupções do vulcão do Topo. De facto, à medida que o vulcão do Topo crescia para E e W, simultaneamente, iam-se instalando os cones vulcânicos sobre as fraturas WNW-ESE. Estima-se que a fase subaérea se terá iniciado há cerca de 230.000 anos e continuado até 1562/64, com a erupção do mistério da Prainha (França *et al*., 2003).

O Complexo Vulcânico da Montanha formou-se porque, a determinado momento, no extremo ocidental da cordilheira do Complexo Vulcânico de São Roque-Piedade, ocorreram movimentos de massa, possivelmente associadas ao Graben do Faial, à zona de fratura Faial-Pico e a acidentes de expressão local, que terão aumentado a extrusão de lavas, contribuindo assim para a edificação do estratovulcão da Montanha do Pico (França *et al*., 2003).

2.6.7 | CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA DA ILHA DAS FLORES

2.6.7.1 | Modelado vulcânico e tectónica

A ilha das Flores que abrange uma área aproximada de 143 km^2, desenvolve-se na direção N-S com forma aproximadamente elíptica, apresentando um comprimento e largura de cerca de 16,5 km e 11,5 km, respectivamente. O ponto de maior altitude (915 m) localiza-se no Morro Alto.

Segundo Azevedo (1998) podem considerar-se dois domínios geomorfológicos distintos na ilha das Flores: o Maciço Central e a Orla Periférica (Figura 2.27).

O Maciço Central engloba o Plateau Central e as zonas adjacentes que se estendem até ao topo das escarpas costeiras ou interiores. O Plateau Central é uma zona aplanada que se desenvolve entre as cotas 500 m e 915 m. Zbyszewski *et al*. (1968) dividem o Plateau em (1) degrau setentrional e (2) degrau meridional. O degrau setentrional que ocupa menor área plana e apresenta maiores altitudes, engloba dois centros eruptivos, o Morro Alto (915 m) e o Pico da Burrinha (867 m). No bordo oeste do planalto localiza-se o vulcão da Caldeirinha (752 m) e no bordo este, a Testa da Igreja (812 m) e o Lombo Grosso (849 m). O degrau meridional apresenta altitudes inferiores e está representado por cones de escórias, por vezes com as crateras abertas (Lomba da Vaca) onde se instalam pequenas lagoas como por exemplo a Caldeira Rasa e a Caldeira da Lomba. No Maciço Central salienta-se ainda a presença

de uma série de cones vulcânicos; crateras de explosão associadas a erupções hidromagmáticas (*maars*), por vezes preenchidas por lagoas (Funda, Negra e Comprida); vestígios de grandes caldeiras, actualmente camufladas por materiais vulcânicos resultantes de erupções subsequentes à sua formação; chaminés e diques (por exemplo, Pedra Alta, Sanguinhal e Piquinhos).

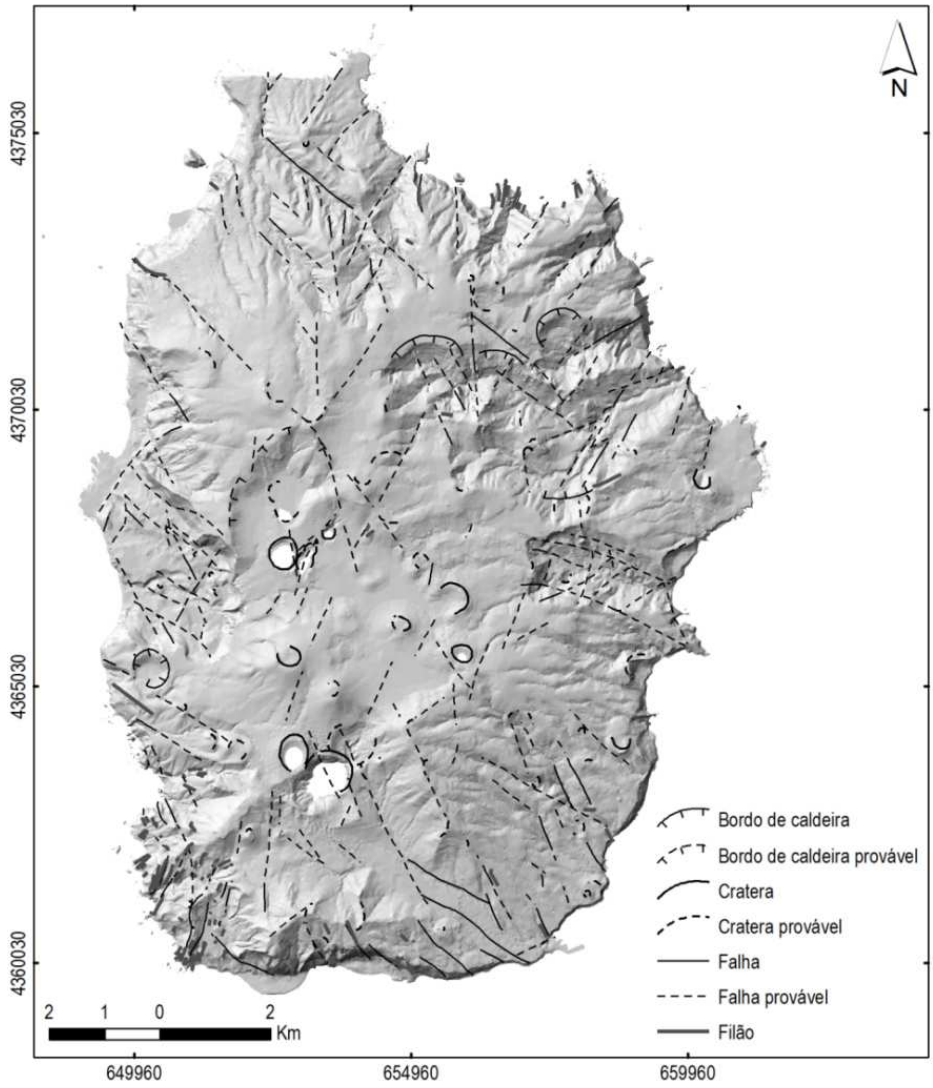


Figura 2.27 | Esboço vulcano-tectónico da ilha das Flores (adaptado de Azevedo, 1998; Gaspar *et al.*, 1999).

É de salientar, ainda, a presença de uma depressão de direcção ESE-WNW de extensão considerável, que é designada como Vale das Lajes ou Boca da Baleia e que, segundo Azevedo (1998), poderá corresponder a um graben.

A Orla Periférica abrange as escarpas e as plataformas de sopé adjacentes ao maciço central.

As estruturas tectónicas presentes na ilha das Flores sugerem uma história com diversas fases, diferente da dos Grupos Central e Oriental (Azevedo, 1998) (Figura 2.27). Actualmente distinguem-se, na ilha, três famílias principais de falhas e filões (Azevedo, 1998; Gaspar *et al*., 1999):

- estruturas com direções entre N30º-40ºW, as quais se prolongam para domínios submarinos e exercem um claro controlo na morfologia actual da ilha
- estruturas com direções entre N15º-30ºE, de reduzida extensão, cuja maioria possui natureza vertical a sub-vertical. A irregularidade da orla costeira NE e SW e o traçado de algumas linhas de água são condicionados pela presença destas estruturas;
- estruturas com direção N-S, que apesar da sua expressão estar subordinada à das famílias anteriores, exercem um importante controlo na distribuição de determinados centros vulcânicos e na implantação dos respectivos produtos, nomeadamente no sector N da ilha;

No domínio da neotectónica, Azevedo (1998) sugere o provável prolongamento ou a actuação directa de falhas transformantes da CMA na ilha das Flores.

2.6.7.2 | Geologia

Azevedo *et al*. (1986), com base em levantamentos geológicos e em datações radiométricas, reformularam as 5 unidades vulcanoestratigráficas definidas por Zbyszewski *et al*. (1968). Posteriormente, em 1998, Azevedo elabora nova carta geológica para a ilha das Flores à escala 1:15 000 (Figura 2.28), onde considera dois grandes complexos vulcânicos: a) o Complexo de Base; b) o Complexo Superior.

O Complexo de Base corresponde a todas as formações que constituíram a proto-ilha das Flores e que servem de substrato ao Complexo Superior. Em termos litológicos, compreende lavas e piroclastos de natureza basáltica e havaítica e produtos vulcaniclásticos, estes últimos predominantes relativamente aos primeiros. Os basaltos e os havaítos apresentam um elevado grau de alteração, que se manifesta pelo aparecimento de níveis altamente argilizados. No que respeita aos produtos vulcaniclásticos, estes evidenciam uma alteração bastante profunda, ocorrendo frequentemente litificações secundárias (Azevedo, 1998).

O Complexo Superior é constituído pelos materiais vulcânicos emitidos durante as várias erupções subaéreas que ocorreram na ilha das Flores, e que se encontram

em todo o Maciço Central e em cerca de 60 a 70% da Orla Periférica. Neste Complexo ocorrem lavas basálticas, havaíticas, mugeaníticas e benmoreíticas, assim como cones de piroclastos e depósitos freatomagmáticos com nódulos sieníticos (Monod & Varet, 1976; França, 1993).

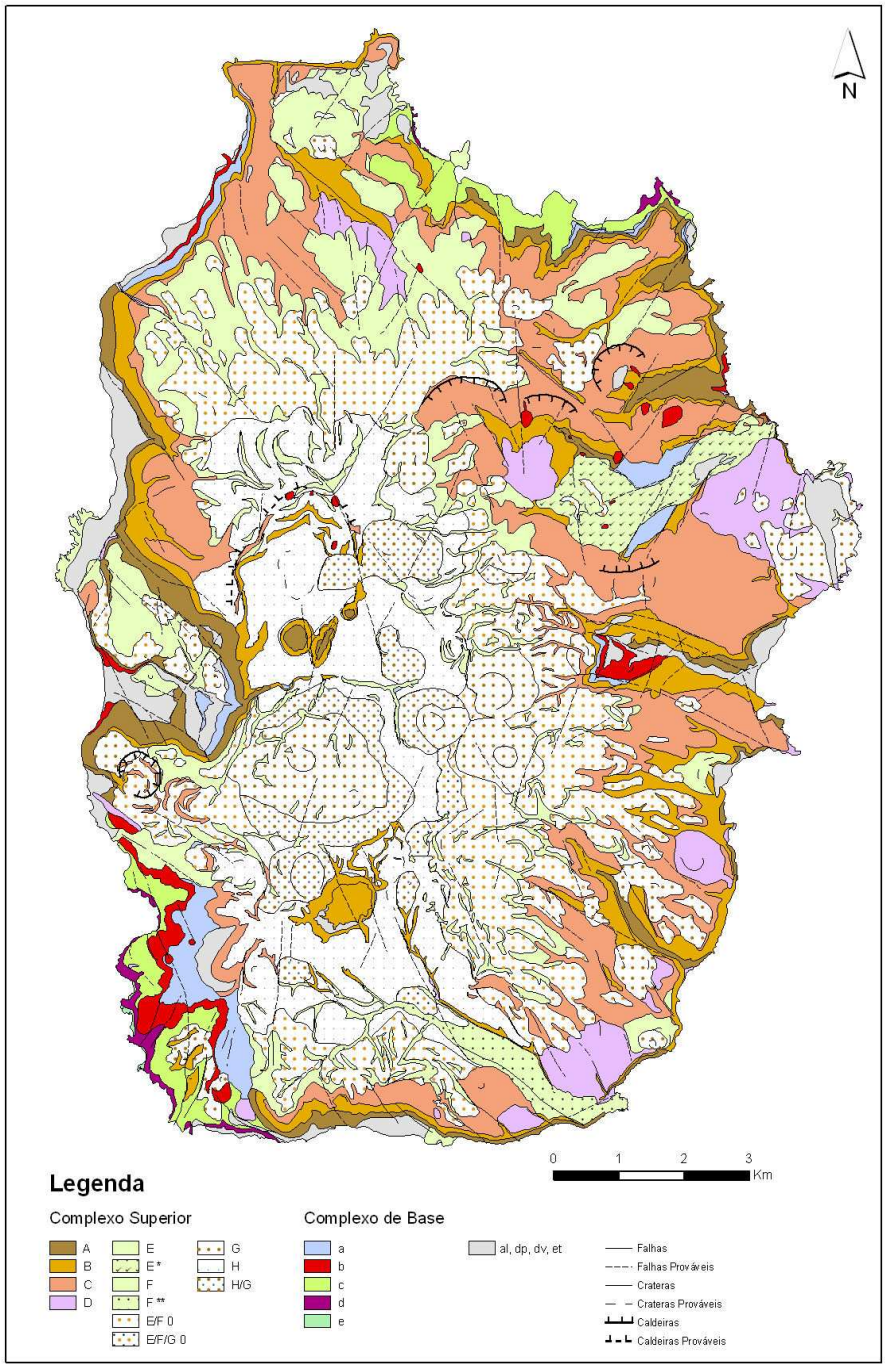


Figura 2.28 | Carta geológica da ilha das Flores (Azevedo, 1998).

3 | HIDROGEOLOGIA DOS AÇORES

3.1 | ENQUADRAMENTO REGIONAL

3.1.1 | ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

A ocorrência, circulação e armazenamento da água subterrânea em regiões vulcânicas, como os Açores, mostram especificidades muito diferentes das de outros meios geológicos que se traduzem numa acentuada heterogeneidade e anisotropia. Estes aspectos singulares são consequência da própria edificação das ilhas, a partir de inúmeras erupções vulcânicas de magnitude e tipologia diversas, e de factores secundários, como a alteração ou a fracturação das rochas, que podem aumentar ou diminuir o potencial original das formações rochosas, como aquíferos. Este comportamento específico é demonstrado pela diversidade de valores relativos aos parâmetros hidrodinâmicos observados nos aquíferos, formados por sequências vulcânicas compostas por escoadas lávicas ou por depósitos piroclásticos (Cruz, 2004). Com efeito, nas escoadas lávicas, resultantes de eventos vulcânicos de natureza efusiva podem observar-se porosidades, tipicamente entre 10% e 50%, embora ocorram, igualmente, valores fora deste intervalo. Os depósitos piroclásticos, resultantes de eventos vulcânicos de natureza explosiva, apresentam valores de porosidade entre 30% e 50%, que podem ser largamente excedidos em formações de queda recentes constituídas por materiais grosseiros. Finalmente podem ainda ser observados valores muito reduzidos de porosidade em depósitos de fluxo soldados (Cruz, 2004).

Os estudos de base que suportaram a realização do Plano de Gestão de Recursos Hídricos da Região Autónoma dos Açores (AHA-SRAM, 2011) permitiram a inventariação de 1673 nascentes e 150 furos (Figura 3.1). Na figura 3.1 verifica-se também que a distribuição das nascentes no arquipélago mostra grandes assimetrias, reflexo da heterogeneidade inerente ao comportamento hidrogeológico do meio vulcânico, para além dos contrastes geomorfológicos e climáticos existentes.

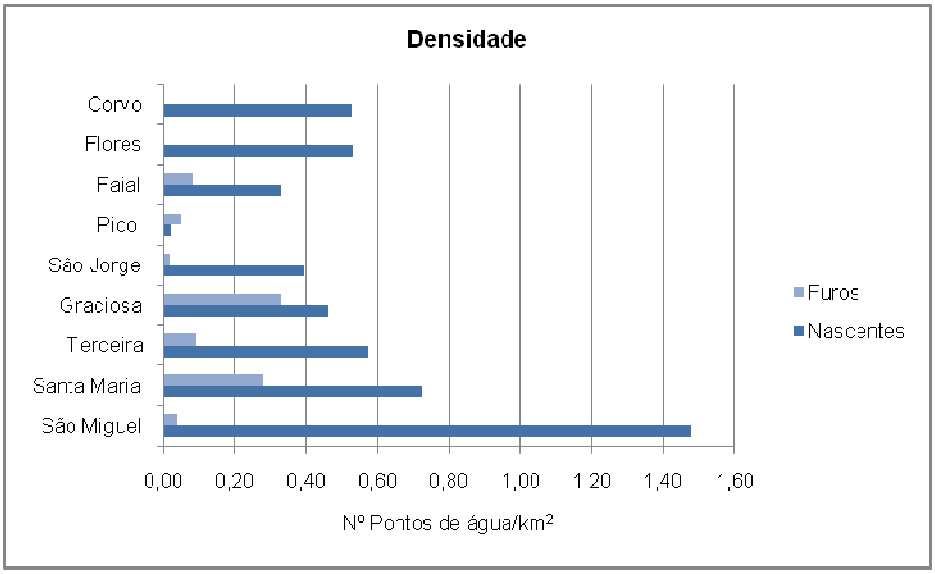


Figura 3.1 | Densidade associada à distribuição de pontos de água por ilha (AHA-SRAM, 2011).

3.1.2 | ENQUADRAMENTO HIDRODINÂMICO

No decurso da elaboração do Plano Regional da Água procedeu-se à definição dos vários sistemas aquíferos, com base nos factores mais relevantes de índole geológica, nomeadamente a estratigrafia, a litologia e as condicionantes estruturais, e também hidrogeológica, com os parâmetros hidrodinâmicos.

Em termos gerais, e de acordo com o postulado no Plano Regional da Água, estas massas de água podem ser constituídas por dois tipos principais de aquíferos: aquíferos de altitude (perched), limitados por filões ou outras descontinuidades, como por exemplo níveis de piroclastos finos, paleossolos intercalados nas sequências de escoadas lávicas ou as zonas compactas das escoadas aa, e aquíferos basais, caracterizados por um gradiente hidráulico muito reduzido. Os primeiros dominam nas zonas altas das ilhas, e as nascentes relacionadas com estas formações, resultantes da sua descarga natural, permitem identificá-los.

Os aquíferos basais correspondem ao meio saturado geral da ilha, com superfície livre, flutuando sobre a água salgada mais densa, e cuja recarga resulta directamente da precipitação eficaz ou da transferência hídrica a partir dos níveis aquíferos de altitude. Em numerosas ilhas vulcânicas, e nomeadamente nalgumas zonas dos Açores, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos é feita a partir desta formação aquífera basal, limitada superiormente pelo nível freático e inferiormente pela interface.

No intuito de determinar os parâmetros hidrodinâmicos, tarefa imprescindível à caracterização dos aquíferos, procedeu-se à interpretação dos resultados de ensaios de bombeamento realizados em furos de captação, sempre que foi possível coligir estes dados relativamente às captações instaladas após 2001. Para tal recorreu-se à aplicação de algumas das aproximações clássicas de análise de resultados de ensaios de bombeamento, e sempre que as condicionantes identificadas por Cruz (2004) o permitiam. No que concerne ao tratamento da informação relativa aos furos instalados antes de 2001, retomaram-se, após validação, os valores apurados em Cruz (2001a).

Os valores determinados nos Açores denotam uma grande variabilidade, expectável face à natureza do meio hidrogeológico. Os caudais específicos variam entre $1,4x10^{-2}$ e 266,67 L/s.m, com um valor de mediana igual a 21,99 L/sm, sendo os valores mais elevados, observados nas ilhas do Pico (6,25 - 250 L/sm) e Graciosa (1,36 - 266,67 L/sm), em furos que captam em escoadas lávicas basálticas *s.l.* recentes e muito fracturadas (Figura 3.2).

Por seu turno, a transmissividade varia entre $2,65x10^{-6}$ e $4,03x10^{-1}$ m^2/s, com uma mediana igual a $1,62x10^{-2}$ m^2/s, sendo os valores mais elevados os observados nas ilhas Graciosa e Pico, em que, de acordo com a classificação de Krásný (1993), respectivamente 91% e 85% dos valores podem ser designados como muito altos (> $1,16x10^{-2}$ m^2/s) (Figura 3.3). Em oposição, na ilha de Santa Maria, observam-se os valores mais baixos do arquipélago, em que apenas 7% das estimativas podem ser, de acordo com o mesmo esquema classificativo, qualificadas de muito altas ou altas ($1,16x10^{-2}$ - $1,16x10^{-3}$ m^2/s).

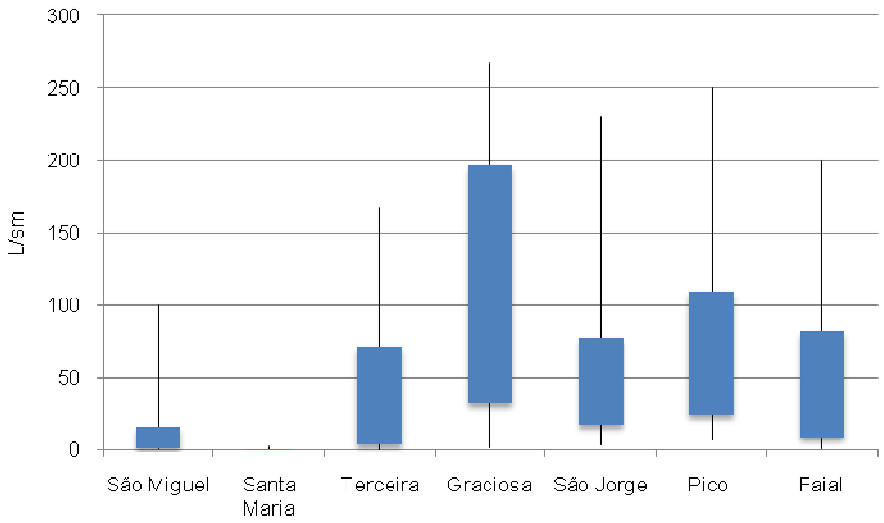


Figura 3.2 | Diagrama de caixas (box plot) relativo aos valores de caudal específico nos Açores (AHA-SRAM, 2011).

.

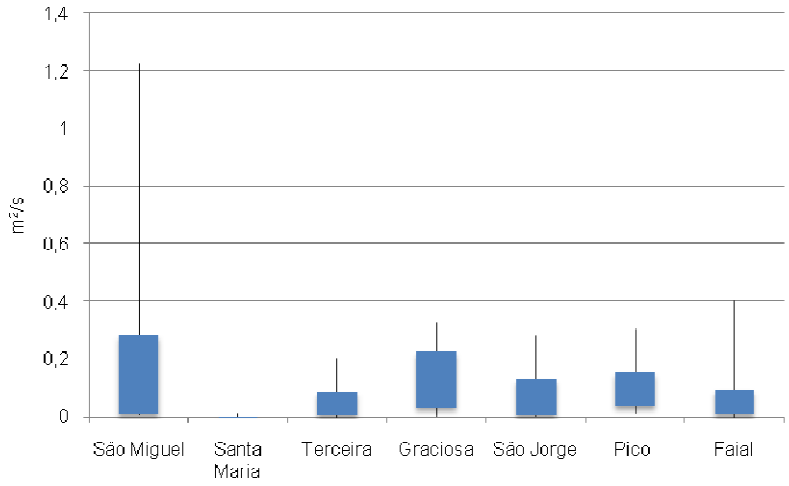


Figura 3.3 | Diagrama de caixas (box plot) relativo aos valores de transmissividade nos Açores (AHA-SRAM, 2011).

As observações do efeito de maré efectuadas na ilha do Pico (Cruz, 1997) e na ilha do Faial (Coutinho, 2000), permitiram obter alguns valores de difusividade hidráulica. Os resultados obtidos na ilha do Pico mostram uma grande variabilidade: considerando o modelo de aquífero confinado o valor médio é igual a 114,58 m^2/s (mediana= 52,11 m^2/s), enquanto atendendo ao modelo de aquífero semi-confinado a média é igual 38,08 m^2/s (mediana= 6,09 m^2/s). Na ilha do Faial, a difusividade hidráulica no ponto de água correspondente ao furo AC4 é igual a 31,17 m^2/s, considerando a amplitude tidal, e a 61,85 m^2/s, considerando o atraso; em ambos os casos aplica-se o modelo para aquíferos confinados.

Conjugando as difusividades hidráulicas calculadas a partir da amplitude com os valores estimados de transmissividade, e quando para um mesmo ponto de água se possuíam estes dados, foi estimada grandeza do coeficiente de armazenamento. No caso de cinco furos da ilha do Pico, verifica-se que o coeficiente de armazenamento apresenta valores na ordem de magnitude típica dos aquíferos confinados, com excepção do resultado do furo das Ribeiras (JK3), que aponta para um armazenamento similar ao de um aquífero livre. Não obstante, os valores apontados para o coeficiente de armazenamento são compatíveis com os valores característicos de meios fissurados, em que o armazenamento dos blocos e das fracturas é muito baixo.

3.1.3 | CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

No arquipélago dos Açores, a composição da água subterrânea é, parcialmente influenciada pela dissolução de minerais primários nas rochas (Cruz & Amaral, 2004). Neste contexto, a solubilização de iões depende da saturação, relativamente aos minerais primários, da precipitação de minerais secundários e do comportamento aquoso de cada elemento, que podem conduzir à formação de espécies solúveis ou insolúveis (Aiuppa *et al*., 2000). Contudo, como em qualquer área, a composição química da água depende de outros factores tais como a composição da chuva, o clima, o tipo de rocha vulcânica, o tempo de residência da água no aquífero, a pressão e a temperatura (Custódio, 1989). Para a determinação da composição química da água concorre, ainda, para além dos processos naturais, a influência antropogénica.

Como em qualquer região insular, nas ilhas que constituem os Açores a química da água subterrânea é ainda parcialmente controlada pela interacção com a água do mar (Cruz & Silva, 2000; Cruz, 2001b; Cruz *et al*., 2010a & 2010b).

Nas regiões vulcânicas activas a composição da água subterrânea é, muitas vezes, também afectada pela libertação profunda de voláteis de origem vulcânica, e alguns estudos desenvolvidos nos Açores (Cruz *et al*., 1999; Cruz & França, 2006; Cruz, 2003) colocam este aspecto em evidência.

As fácies hidrogeoquímicas predominantes no arquipélago dos Açores correspondem a águas do tipo cloretada sódica ou bicarbonatada sódica. Esta tipologia reflecte, respectivamente, a acção dos principais mecanismos mineralizadores da água subterrânea nas várias ilhas: (1) influência de sais marinhos, mediante o transporte por acção da chuva e do vento, ou através da mistura com a água do mar em furos e poços, e (2) dissolução de CO_2 no solo pelas águas infiltradas e hidrólise de minerais silicatados (Cruz & Amaral, 2004).

Um aspecto característico do quimismo das águas subterrâneas no arquipélago dos Açores reside no contraste entre águas sem influência vulcânica, nomeadamente aquelas que emergem em nascentes e as captadas em furos, devido, essencialmente, à magnitude da influência de sais de origem marinha. As nascentes apresentam fácies cloretada sódica a bicarbonatada sódica, o que corresponde a fluidos pouco mineralizados, com condutividade eléctrica entre 36 e 725 $\mu S.cm^{-1}$; em oposição, as águas captadas em furos apresentam predominantemente fácies cloretada sódica e mineralizações mais elevadas, com um valor médio da condutividade igual a 1044 $\mu S.cm^{-1}$ (Figuras 3.4 e 3.5).

Para além destes processos genéricos ocorrem ainda um elevado número de nascentes de águas minerais e termais, nomeadamente em São Miguel e, com menor expressão, nas ilhas Terceira, Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Flores. Estas emergências reflectem sobretudo o enquadramento vulcânico e tectónico do arquipélago, com sistemas hidrotermais activos nalgumas ilhas, e o transporte de gases de origem profunda, como o CO_2, HCl, HF, H_2S e SO_2.

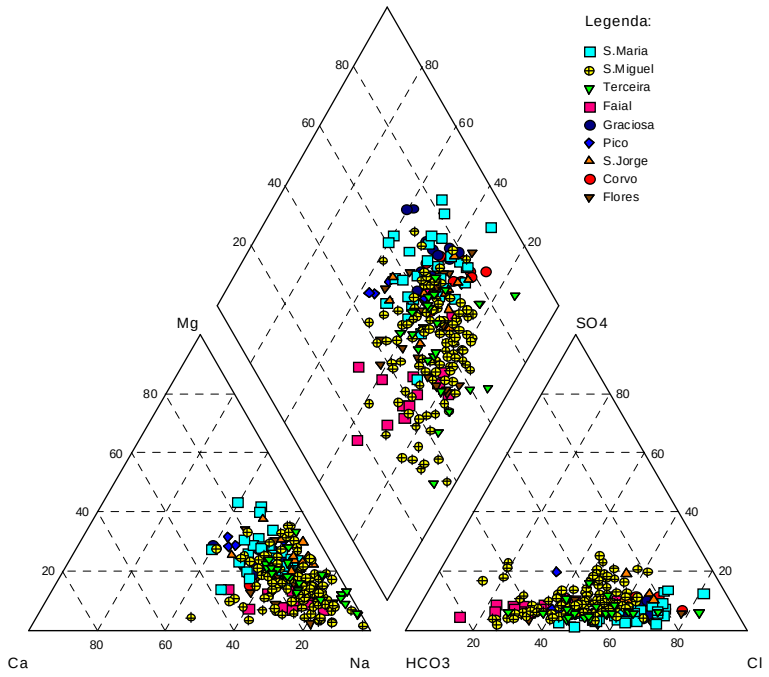


Figura 3.4 | Diagrama de Piper relativo à composição química da água captada em nascentes nos Açores (Cruz, 2004).

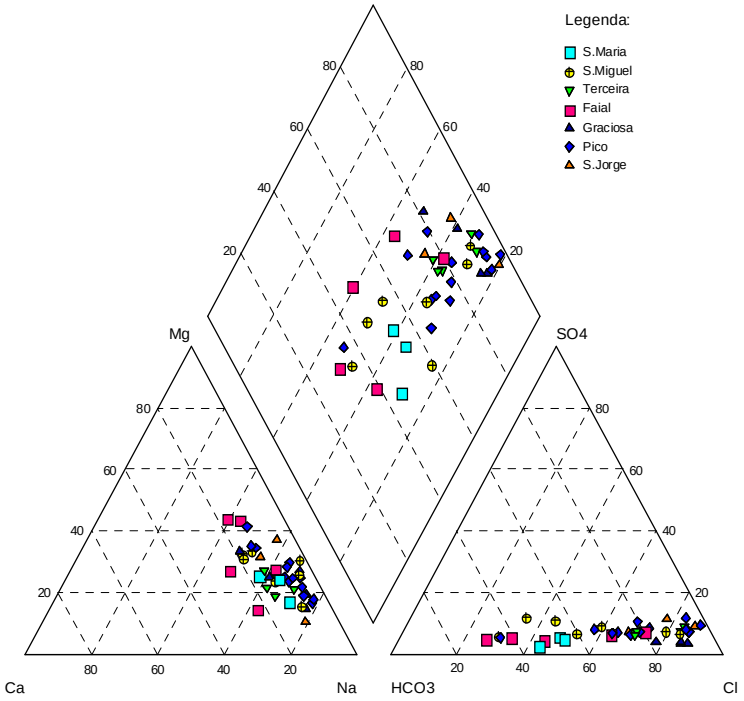


Figura 3.5 | Diagrama de Piper relativo à composição química da água captada em furos nos Açores (Cruz, 2004).

3.2 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA DE SÃO MIGUEL

3.2.1| CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água elaborado no âmbito do Plano de Gestão de Recursos Hídricos na ilha de São Miguel, assentou em quatro referências fundamentais (AHA-SRAM, 2011): o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha, o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água (Cruz, 2001a), o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Cruz *et al.*, 2001, Cruz & Goulart 2001a, 2001b, 2001c & 2001d, Cruz *et al.,* 2003a & 2003b).

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 1100 nascentes (1,48 nascentes/km^2) e 26 furos (0,03 furos/km^2), encontra-se representada na Figura 3.6 Relativamente à distribuição das nascentes, estas ocorrem predominantemente nas massas de água Água de Pau (286), Furnas - Povoação (283), Ponta Delgada - Fenais da Luz (206), Nordeste - Faial da Terra (162), Sete Cidades (140) e Achada (23. No que concerne à

distribuição dos furos de captação, na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz foram inventariados 15, na massa Água de Pau sete, na massa Achada três e na massa de água Nordeste - Povoação apenas um furo. As massas de água Sete Cidades e Furnas - Povoação não apresentam qualquer furo de captação (AHA-SRAM, 2011).

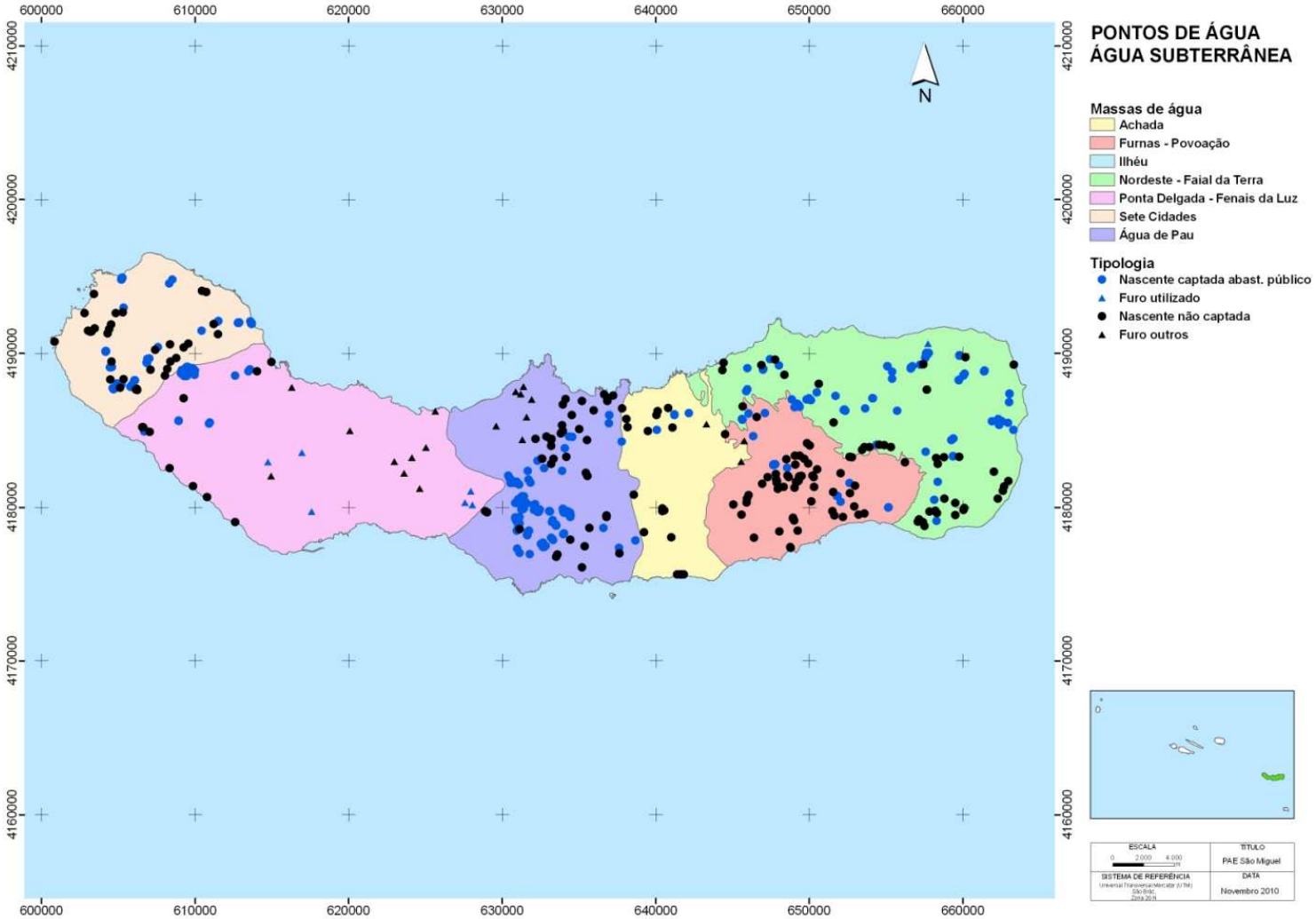


Figura 3.6 | Distribuição de pontos de água na ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Os parâmetros hidráulicos determinados na ilha de São Miguel foram, o caudal específico (L/sm), a transmissividade (m^2/s) e a condutividade hidráulica (m/s); no entanto os valores daqueles parâmetros hidráulicos foram fixados, somente, a partir de furos existentes nas massas de água de Ponta Delgada - Fenais da Luz e de Água de Pau. O caudal específico varia entre 0,49 e 100 L/sm (mediana = 1,11 L/sm), constatando-se que foram ambos observados em furos instalados na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz (Tabela 3.1). Em qualquer caso, o valor médio observado na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz (22,50 L/sm) é de ordem de magnitude superior ao valor relativo à massa de água Água de Pau (0,77 L/sm). A transmissividade varia entre $5{,}98x10^{-4}$ e $1{,}22x10^{-1}$ m^2/s, (mediana = $1{,}35x10^{-3}$ m^2/s), apresentando um comportamento similar ao caudal específico na medida que o valor médio mais elevado é observado na massa Ponta Delgada - Fenais da Luz ($2{,}97x10^{-2}$ m^2/s), enquanto na massa Água de Pau é da ordem de magnitude de 10^{-4} m^2/s. As estimativas de condutividade hidráulica apresentam valores médios mais elevados na massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz ($3{,}69x10^{-3}$ m/s), enquanto na massa de água Água de Pau é de ordem de magnitude 10^{-5} m/s a 10^{-7} m/s (AHA-SRAM, 2011).

Tabela 3.1 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/s.m)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Ponta Delgada - Fenais da Luz	JK2 - Charco da Madeira	100,00	$1{,}22x10^{-01}$	8,28	$1{,}47x10^{-02}$
	JK3 - Fajã de Cima	45,00	$5{,}49x10^{-02}$	7,00	$7{,}84x10^{-03}$
	ACLC1 - Lagoa do Conde	1,41	$1{,}96x10^{-02}$	6,31	$3{,}11x10^{-03}$
	AC1 - 5 Caminhos	30,00	$3{,}66x10^{-02}$	10,00	$3{,}66x10^{-03}$
	SL1 - Tecnovia	0,56	$6{,}83x10^{-04}$	8,00	$8{,}54x10^{-05}$
	SL3 - Marques Britas	1,39	$1{,}70x10^{-03}$	78,00	$2{,}06x10^{-07}$
	AQ1 - Unileite	0,49	$5{,}98x10^{-04}$	12,00	$4{,}98x10^{-05}$
	SL11 - Herdeiros A. F. Medeiros	1,11	$1{,}35x10^{-03}$	36,00	$3{,}76x10^{-05}$
Água de Pau	SL5 - Insulac	0,56	$6{,}83x10^{-04}$	30,00	$2{,}16x10^{-07}$
	SL6 - Vieira e Vieira	0,87	$1{,}06x10^{-03}$	22,00	$4{,}83x10^{-05}$
	SL7 - Agro Vieira/ Agro Ferreira&Ferreira	0,87	$1{,}06x10^{-03}$	54,00	$1{,}86x10^{-07}$

3.2.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÀGUA

Na ilha de São Miguel foram delimitadas seis massas de água (Figura 3.7). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

Por sua vez a enumeração das características gerais dos estratos da área das massas de água subterrâneas, delimitadas para ilha de São Miguel, foram efectuadas com base nos trabalhos de Zbyszewski *et al.* (1958 & 1959), Moore (1990 & 1991a), Queiroz (1997), Wallenstein (1999), Ferreira (2000), Guest *et al.* (1999), Cruz (2001a & 2004), Carmo (2004), França *et al*. (2003) e Pacheco *et al.* (2013).

As massas de água delimitadas e caracterizadas são as seguintes:

- Massa de água Sete Cidades

Com uma área aflorante da ordem de 86,05 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 11,6% da superfície de São Miguel, correspondendo ao sector ocidental da ilha, e confronta para SE com a massa Ponta Delgada - Fenais da Luz. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Ponta Delgada.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Os aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, podem ser porosos ou fissurados, e a sua ocorrência depende da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida, ou é função de aparelhos vulcânicos secundários sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Vulcão das Sete Cidades, que domina a extremidade oriental da ilha de São Miguel. O Vulcão das Sete Cidades contacta a E com o Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, e estratigraficamente compreende dois grupos principais: o grupo inferior, com idade superior a 200000 anos, que apresenta depósitos associados à fase subaérea de construção do edifício, e o grupo superior que contempla todos os produtos vulcânicos emitidos desde à 36000 anos. No interior da caldeira de topo são observáveis cones pomíticos, *maars* e domos traquíticos, enquanto por seu turno os flancos do vulcão central apresentam uma espessa cobertura de piroclastos pomíticos, sendo também possível a observação de cones de escórias e domos traquíticos constituindo centros eruptivos secundários.

- Massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz

Com uma área aflorante da ordem de 196,71 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 26,4% da superfície de São Miguel, correspondendo ao sector central-ocidental da ilha, e confronta para NE com a massa Sete Cidades e a W com a massa Água de Pau. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Ponta Delgada, Ribeira Grande e Lagoa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basal, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Admite-se a existência de aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, que podem ser porosos ou fissurados, cuja ocorrência depende de níveis de permeabilidade muito reduzida, ou é função de aparelhos vulcânicos secundários sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde predominantemente ao denominado Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, que domina o sector central-ocidental da ilha de São Miguel, coalescendo a W com o Vulcão das Sete Cidades e para E com o Vulcão do Fogo. O vulcanismo nesta área foi essencialmente do tipo efusivo (estromboliano e hawaiano), ocorrendo alinhamentos de numerosos cones de escórias de orientação WNW-ESE e NW-SE que marcam o carácter frequentemente fissural das erupções.

- Massa de água, Água de Pau

Com uma área aflorante da ordem de 133,61 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 17,9% da superfície de São Miguel, correspondendo ao sector central da Ilha, e confronta para W com a massa Ponta Delgada - Fenais da Luz e para E com a massa Achada. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Ribeira Grande, lagoa e Vila Franca do Campo.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Os aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, podem ser porosos ou fissurados, e a sua ocorrência depende da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida, ou é função de aparelhos vulcânicos secundários sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Vulcão do Fogo, que domina a região central da ilha de São Miguel. O Vulcão do Fogo apresenta um aparelho vulcânico central com uma caldeira no topo, cujas paredes

apresentam cerca de 300 m de altura. Nos flancos do vulcão central observam-se cones de escórias, domos traquíticos, *maars* e espessas coberturas de depósitos piroclásticos.

- Massa de água Achada

Com uma área aflorante da ordem de 71,62 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 9,6% da superfície de São Miguel, correspondendo ao sector central - oriental da ilha, e confronta para W com a massa Água de Pau, para SE com a massa Furnas - Povoação e a NE com a massa Nordeste - Faial da Terra. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Ribeira Grande, Vila Franca do Campo e Povoação.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Os aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, podem ser porosos ou fissurados, e a sua ocorrência depende da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida, ou é função de aparelhos vulcânicos secundários sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde predominantemente ao denominado Vulcão das Furnas, e domina uma vasta região no sector central-oriental da ilha de São Miguel. O Vulcão das Furnas corresponde a um vulcão central, representado por produtos traquíticos resultantes de actividade vulcânica essencialmente explosiva, bem como por domos e escoadas lávicas muito espessas, no topo do qual ocorre um complexo de caldeiras resultante de importantes episódios de colapso.

- Massa de água Nordeste - Faial da Terra

Com uma área aflorante da ordem de 165,69 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 22,3% da superfície de São Miguel, correspondendo ao sector oriental da ilha, e confronta para E com as massas Furnas - Povoação e Achada. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Nordeste, Povoação e Ribeira Grande.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Os aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, podem ser porosos ou fissurados, e a sua ocorrência depende da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde predominantemente ao denominado Sistema Vulcânico do Nordeste, que domina o sector mais oriental da ilha

de São Miguel. O Sistema Vulcânico do Nordeste é datado entre 0,95 e 4,01 M.a., e os produtos, essencialmente resultado de actividade vulcânica efusiva, apresentam um elevado grau de alteração e correspondem a espessas sequências lávicas basálticas *s.l.* com termos traquíticos intercalados com depósitos de escórias.

- Massa de água Furnas - Povoação

Com uma área aflorante da ordem de 90,81 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 12,2% da superfície de São Miguel, ocupando uma área na costa S, de acordo com uma posição meridiana à metade oriental da ilha, e confronta para W com a massa Achada e a N, NE e E com a massa Nordeste - Faial da Terra. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Povoação, Vila Franca do Campo e Ribeira Grande.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, constituído por aquíferos predominantemente fissurados. Os aquíferos de altitude, descontínuos ou conectados hidraulicamente aos aquíferos de base, podem ser porosos ou fissurados, e a sua ocorrência depende da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida, ou é função de aparelhos vulcânicos secundários sempre que o respectivo volume seja significativo do ponto de vista hidrogeológico.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde aos denominados Vulcões das Furnas e da Povoação, e domina uma vasta região na metade oriental da ilha de São Miguel. O Vulcão da Povoação encontra-se a Oeste do Sistema Vulcânico do Nordeste e a Este do Vulcão das Furnas, e é constituído por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos que são apenas observáveis nas arribas da costa Sul, na medida que se encontra densamente coberto por produtos explosivos oriundos do vulcão das Furnas. Por seu turno, o Vulcão das Furnas corresponde a um vulcão central, representado por produtos traquíticos resultantes de actividade vulcânica essencialmente explosiva, bem como por domos e escoadas lávicas muito espessas, no topo do qual ocorre um complexo de caldeiras resultante de importantes episódios de colapso.

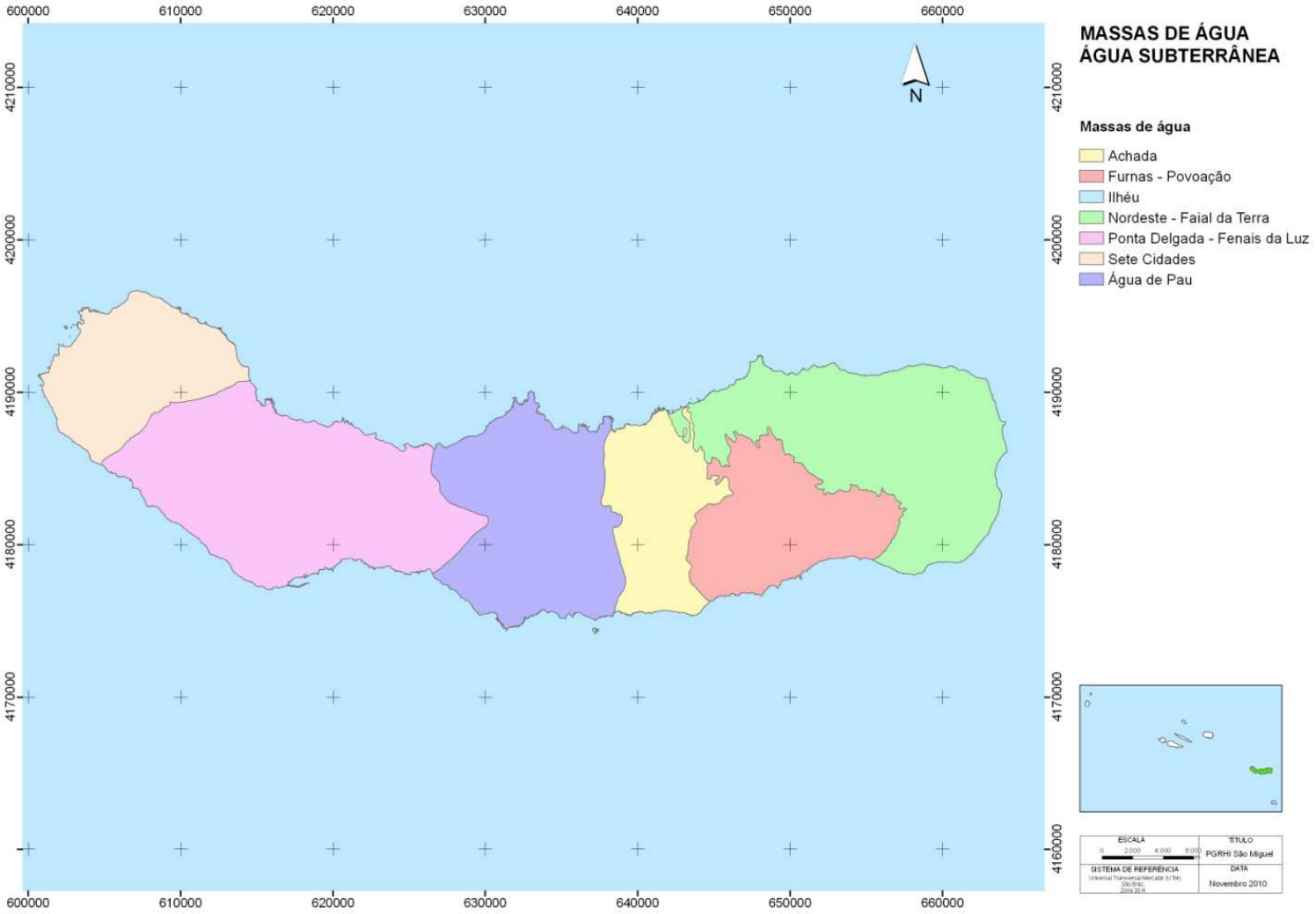


Figura 3.7 | Massas de água da ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

3.2.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Os recursos hídricos subterrâneos na ilha de São Miguel são, no geral, elevados, totalizando 369,7 hm^3/ano (AHA-SRAM, 2011). A massa de água com recursos mais elevados é a designada por Ponta Delgada - Fenais da Luz (129,7 hm^3/ano), embora sejam igualmente de realçar os recursos relevantes estimados para as massas Nordeste - Faial da Terra (82,9 hm^3/ano) e Água de Pau (69,6 hm^3/ano).

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea de São Miguel são respectivamente iguais a: 19,1 hm^3/ano (Sete Cidades), 77,8 hm^3/ano (Ponta Delgada - Fenais da Luz), 41,7 hm^3/ano (Água de Pau), 18,6 hm^3/ano (Achada), 14,8 hm^3/ano (Furnas - Povoação) e 49,8 hm^3/ano (Nordeste - Faial da Terra).

3.2.4 | ÁREAS DE RECARGA

No âmbito da elaboração do Plano de Gestão de Recursos Hídricos de ilha a delimitação das áreas preferenciais de recarga assentou em cinco factores (AHA-SRAM, 2011): precipitação útil (precipitação média anual - evapotranspiração real média anual), ocupação do solo, geologia, densidade de drenagem e declive. Neste contexto, foram elaborados mapas com a distribuição espacial do potencial de recarga, de acordo com cinco classes:

- Recarga muito reduzida - Ipr ≤ 8
- Recarga reduzida - 8 <Ipr≤12
- Recarga moderada - 12 <Ipr≤16
- Recarga elevada - 16 <Ipr≤20
- Recarga muito elevada -Ipr>20

Na Figura 3.8 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha de São Miguel, classificadas em função das categorias acima mencionadas. A análise da figura referida anteriormente permite evidenciar que na ilha predomina a classe de recarga moderada, embora se observem regiões representativas de todas as classes.

A classe de recarga moderada domina em toda a ilha, sem qualquer controle altitudinal aparente. A classe de recarga elevada ocupa algumas áreas reduzidas, em

especial em zonas de maior altitude e numa faixa corresponde à massa Ponta Delgada - Fenais da Luz. Por seu turno, a classe de recarga baixa está particularmente bem representada na zona costeira da ilha (AHA-SRAM, 2011).

No âmbito territorial das massas de água subterrânea, verifica-se que na massa Ponta Delgada - Fenais da Luz as classes de recarga dominantes são a moderada a elevada, o que é compatível com a taxa de recarga estimada, igual a 45%.

Para as restantes massas de água subterrânea a classe de recarga prevalecente é a moderada. Os resultados obtidos para estas massas de água enquadram-se no intervalo de valores da taxa de recarga estimados, que variam entre 16% e 30%, para a ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

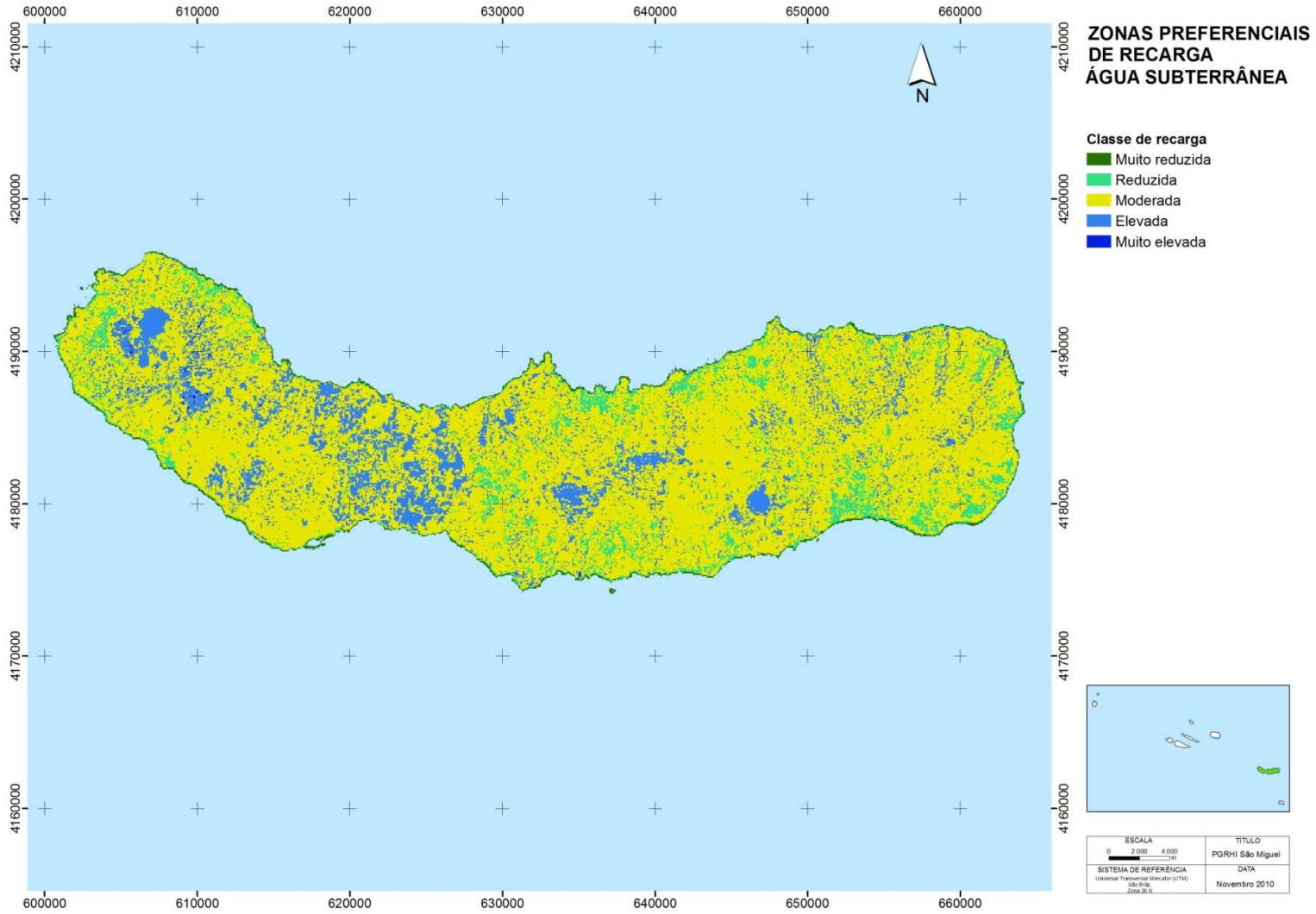


Figura 3.8 | Zonas preferênciaisde recarga de água subterrânea ilha de São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

3.2.5 | HIDROGEOQUÍMICA

As águas subterrâneas da ilha de São Miguel apresentam como fácies hidrogeoquímicas dominantes a cloretada sódica e a bicarbonatada sódica, obsevando-se alguns tipos de água cuja classificação se pode classificar de intermédia (Figura 3.9). As temperaturas observadas correspondem a águas frias a ortotermais, com um valor de mediana igual a 15º C. A condutividade eléctrica varia entre os 25,5 e os 9670 μS/cm. A alcalinidade das águas está balizada entre os 8,5 e os 850 mg/L. A dureza total varia entre os 1,33 e os 2199,2 mg/L. O pH das águas amostradas varia entre os 3,41 e os 8,8. Esta variação é resultante da modificação composicional destas águas devido essencialmente aos processos modificadores, como a contribuição vulcânica e a mistura com sais marinhos (AHA-SRAM, 2011).

A ocorrência de um elevado número de águas minerais, em especial, nas massas de água Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, indica uma forte influência do ambiente vulcânico activo existente na ilha de São Miguel. O estudo pormenorizado abordando a temática das águas minerais será efectuado especificamente nos capítulos 4 e 5 desta dissertação.

O diagrama de Schoeller projectado para todas as massas de água mostra que as análises consideradas são maioritariamente análogas, revelando uma grande homogeneidade composicional (Figura 3.9).

As fácies químicas presentes na massa de água das Sete Cidades correspondem predominantemente à cloretada bicarbonatada sódica, à cloretada bicarbonatada sódica e à bicarbonatada sódica (Cruz, 2004). Nesta massa de água as nascentes incluídas têm uma condutividade eléctrica, baixa, que varia entre 84 e 440 μS/cm, indicando desta forma um grau de mineralização baixo para estas águas. O catião predominante é o sódio, cujos teores variam entre 11 e 96 mg/L, enquanto os aniões predominantes, bicarbonato e cloreto, se distribuem entre 24,77 a 121,39 mg/L e 16,69 a 96,92 mg/L.

O facto da massa de água Ponta Delgada - Fenais da Luz incluir furos de captação, que muitas vezes exibem sinais de salinização, e aos quais corresponde essencialmente uma fácies cloretada sódica, e nascentes, que drenam de aquíferos de altitude a que correspondem predominantemente fácies bicarbonatadas sódicas (AHA-SRAM, 2011). Algumas amostras apresentam fácies do tipo intermédio (cloretadas bicarbonatadas sódicas). Esta diferença é bem vincada através dos valores de condutividade das águas, que variam entre 25,5 a 9670 μS/cm, com uma mediana igual a 123 μS/cm. O sódio é o catião mais importante em solução, variando entre 9 e 2110 mg/L. O cloreto e o bicarbonato são os aniões dominantes, variando respectivamente entre 12,07 a 4366,5 mg/L, com

mediana igual a 21,84 mg/L, e 10,37 a 860,1 mg/L, a que corresponde uma mediana de 46,97 mg/L (AHA-SRAM, 2011).

A massa de Água de Pau caracteriza-se por apresentar como fácies características das águas cloretadas sódicas a bicarbonatadas sódicas, embora existam amostras cloretadas bicarbonatadas sódicas A condutividade das amostras das nascentes e furos variam entre 73,2 a 480 μS/cm, com um valor de mediana igual a 152 μS/cm. O sódio é o catião dominante em solução, variando entre 12 e 76,01 mg/L. Os aniões predominantes são o bicarbonato e o cloreto: os respectivos teores distribuem-se entre 20,74 a 163,14 mg/L e 11,24 a 163,14 mg/L. (AHA-SRAM, 2011).

Relativamente à massa de água Achada apenas se possuem três análises completas, que correspondem a águas do tipo cloretada sódica a bicarbonatada sódica. As condutividades das amostras variam entre 117,9 a 398 μS/cm, indicativas de mineralizações baixas onde predomina o catião sódio (10,4 - 47,89 mg/L) e os aniões bicarbonato (25,01 - 55,5 mg/L) e cloreto (9,2 - 49,04 mg/L).

As águas emergentes na massa Nordeste - Faial da Terra apresentam fácies bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas sódicas cálcicas, embora se observem águas cloretadas sódicas. A condutividade das amostras varia entre 69 e 420 μS/cm, com uma valor de mediana igual a 151 μS/cm. O teor do sódio, o catião dominante, varia entre 9 e 60,1 mg/L. Os aniões predominantes são o bicarbonato, e acessoriamente nalguns casos o cloreto, e as concentrações destas espécies variam respectivamente entre 25 a 61 mg/L e 11,2 a 61,2 mg/L.

Relativamente à massa de água Furnas - Povoação, prevalece a fácies bicarbonatada sódica, observando-se contudo uma amostra bicarbonatada sódica magnesiana. Os valores da condutividade eléctrica estão balizados entre os 127 a 2860 μS/cm. Este facto deve-se a um número de nascentes minerais, termais e gasocarbónicas existentes no interior do complexo de caldeiras que encima o topo do estratovulcão das Furnas. O sódio é o catião dominante, variando entre 20,3 a 530 mg/L. Por sua vez o bicarbonato é o anião predominante, variando entre 39,7 e 1037 mg/L (mediana = 369 mg/L) (AHA-SRAM, 2011).

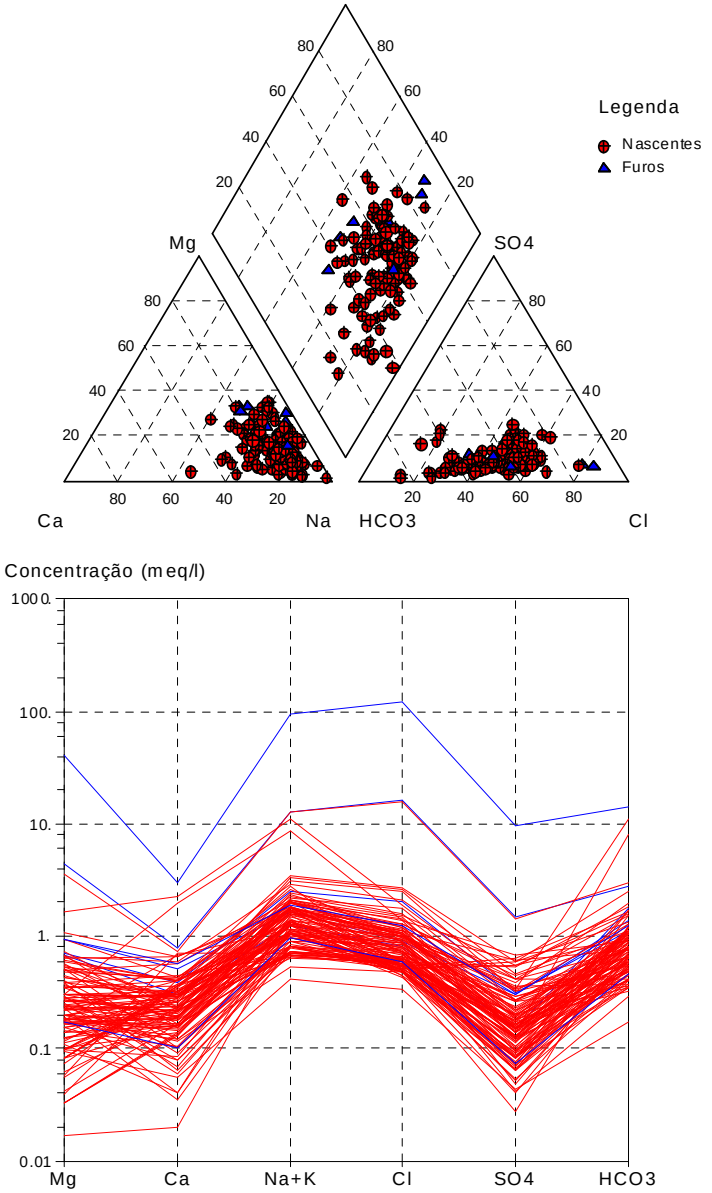


Figura 3.9 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha de São Miguel (Cruz, 2004).

3.2.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

No âmbito da elaboração do PGRH da ilha de São Miguel, a vulnerabilidade à poluição foi avaliada com base na metodologia DRASTIC (Aller *et al*., 1987). Optou-se pela utilização desta metodologia quer face à facilidade de discriminação espacial de áreas de vulnerabilidade diversa, quer face à ampla disseminação desta metodologia, em ambientes geológicos e hidrogeológicos muito variáveis, o que facilita a comparabilidade dos resultados.

Após a quantificação do valor absoluto dos índices DRASTIC, procedeu-se à respectiva representação espacial de acordo com divisão dos resultados em seis classes:

- Vulnerabilidade muito baixa (índice DRASTIC inferior a 99);
- Vulnerabilidade baixa (índice DRASTIC entre 100 e 119);
- Vulnerabilidade baixa a moderada (índice DRASTIC entre 120 e 139);
- Vulnerabilidade moderada (índice DRASTIC entre 140 e 159);
- Vulnerabilidade elevada (índice DRASTIC 160 e 179);
- Vulnerabilidade muito elevada (índice DRASTIC superior a 180).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha corresponde às classes de moderada e baixa a moderada vulnerabilidade à poluição. A classe de vulnerabilidade moderada domina o sector central-ocidental da ilha, enquanto a classe de vulnerabilidade baixa a moderada domina toda a área remanescente, com excepção, em particular, da extremidade oriental de São Miguel, em que a vulnerabilidade se pode designar como baixa (Figura 3.10).

Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pela massa Ponta Delgada - Fenais da Luz dominam as classes de vulnerabilidade moderada e baixa a moderada, predominando a primeira essencialmente na zona mais a Este. As classes de baixa e baixa a moderada vulnerabilidade correspondem à maioria da área aflorante da massa Nordeste - Faial da Terra, enquanto nas restantes massas a classe representada corresponde essencialmente à moderada a baixa vulnerabilidade à poluição.

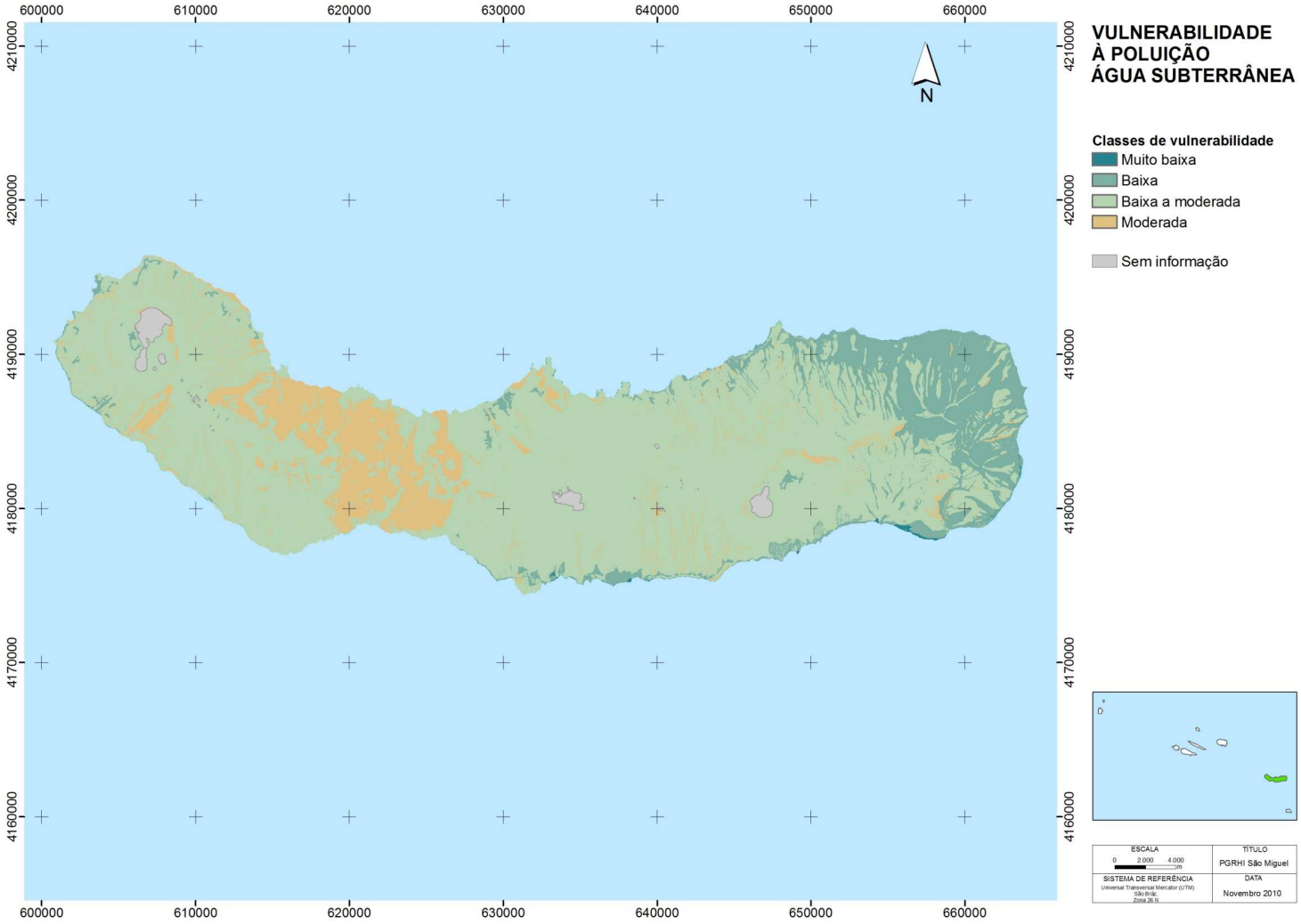


Figura 3.10 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha São Miguel (AHA-SRAM, 2011).

3.3 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA TERCEIRA

3.3.1| CARATERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água elaborado no âmbito do Plano de Gestão de Recursos Hídricos na ilha Terceira, assentou em quatro referências fundamentais (AHA-SRAM, 2011): o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha, o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água (Cruz, 2001a), o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Coutinho *et al.*, 2006).

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 229 nascentes (0,57 nascentes/km^2) e 36 furos (0,09 furos/km^2), encontra-se representada na figura 3.11. Relativamente à distribuição das nascentes, estas ocorrem predominantemente nas massas de água Labaçal - Quatro Ribeiras (55), Santa Bárbara Ineferior (44), Central (17) e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião (17). No quediz respeito à distribuição dos furos de captação, nas massas de água Caldeira de Guilherme Moniz - São Sebastião e Graben foram inventariados nove, na massa Ignimbrito das Lajes oito, na massa Central três e na massa de água Biscoitos - Terra Chã apenas dois furos.

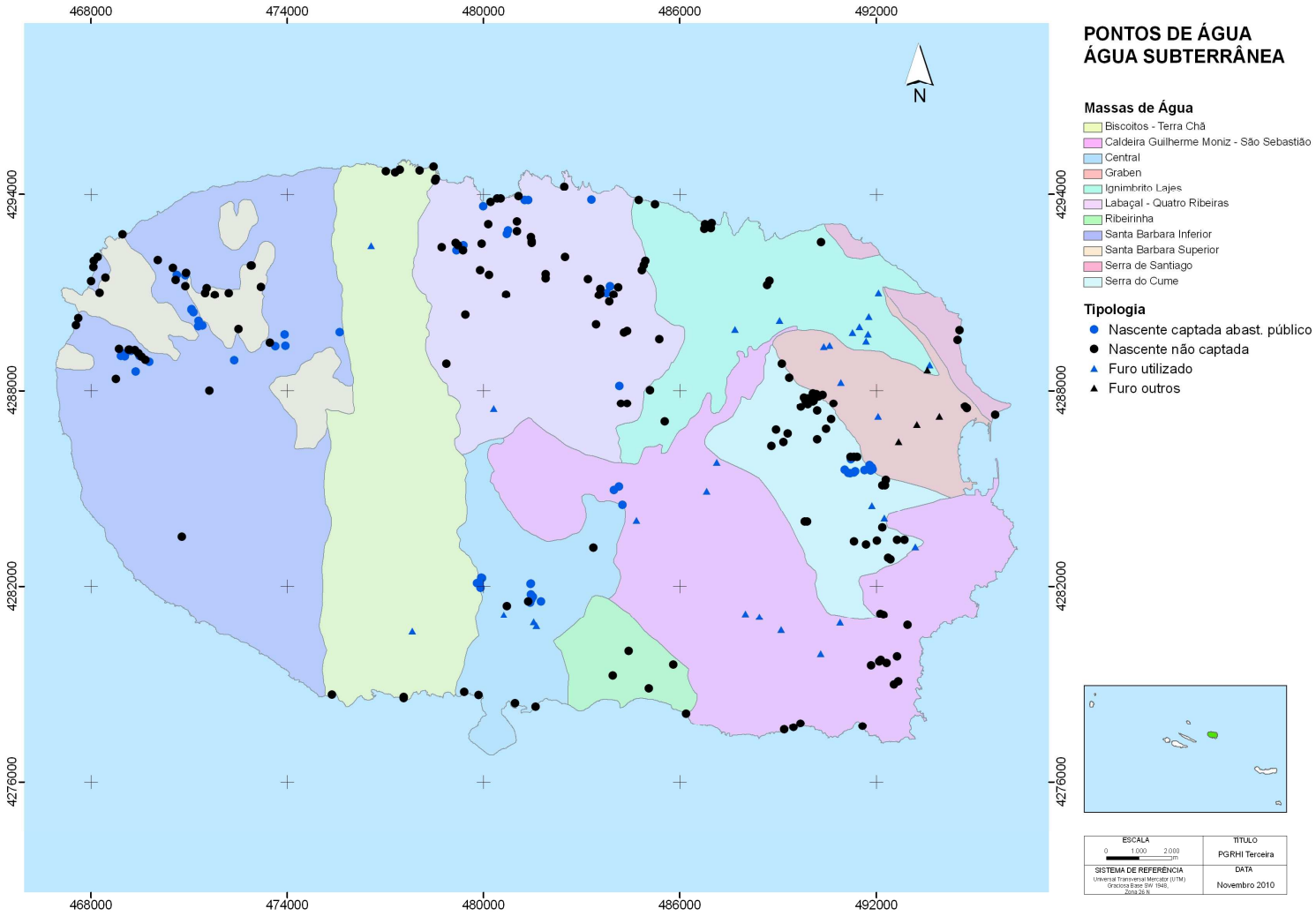


Figura 3.11 | Distribuição de pontos de água na ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

O caudal específico (L/sm), a transmissividade (m^2/s) e a condutividade hidráulica (m/s) foram os parâmetros hidráulicos determinados na ilha Terceira. Desta forma, Com base nos dados obtidos, é possível concluir que o caudal específico desta ilha varia entre $1{,}70x10^{-1}$ e 166,67 L/sm (mediana = 7,74 L/sm); o valor mais baixo foi observado num furo instalado na massa de água Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião, e o mais elevado na massa Ignimbrito das Lajes (Tabela 3.2). Por sua vez, os valores médios observados nas massas de água Ignimbrito das Lajes (89,94 L/sm) e Graben (72,5 L/sm) têm uma ordem de magnitude superiores aos valores relativos às restantes massas, com excepção da Serra do Cume, embora no que concerne a esta última só se possua uma observação. Um furo antigo de que não se possui localização apresenta um valor elevado de caudal específico (101,67 L/sm). A transmissividade varia entre $2{,}65x10^{-4}$ e $2{,}03x10^{-1}$ m^2/s, (mediana = $9{,}44x10^{-3}$ m^2/s), e apresenta um comportamento semelhante ao caudal específico uma vez que os valores médios mais elevados são observados respectivamente nas massas Ignimbrito das Lajes ($1{,}10x10^{-1}$ m^2/s) e Graben ($8{,}85x10^{-2}$ m^2/s). Os valores mais baixos encontram-se nas massas Central e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião são da ordem de magnitude de 10^{-3} m^2/s. Relativamente ao parâmetro condutividade hidráulica as estimativas efectuadas apresentam valores médios mais elevados nas massas de água Ignimbrito das Lajes ($9{,}72x10^{-3}$ m/s) e Graben ($8{,}46x10^{-3}$ m/s), da mesma ordem de magnitude das observação efectuada na massa Biscoitos - Terra Chã. Os valores mais baixos encontram-se nas massas Central e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião com uma magnitude da ordem de 10^{-4} m/s. O valor mais elevado da condutividade hidráulica ($6{,}61x10^{-2}$ m/s) foi observado no furo da Serra do Cume (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/sm)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Biscoitos - Terra Chã	JHF1	8,33	$1,02x10^{-02}$	7,27	$1,40x10^{-03}$
Central	JHF4	0,26	$1,34x10^{-03}$	6,10	$2,20x10^{-04}$
	JHF2	4,10	$5,00x10^{-03}$	12,90	$3,88x10^{-04}$
Serra do Cume	AC1A	112,00	$1,32x10^{-01}$	2,00	$6,61x10^{-02}$
Caldeira Guilherme Moniz - S. Sebastião	JHF3	7,14	$8,71x10^{-03}$	8,50	$1,02x10^{-03}$
	Ribeira do Testo	5,26	$6,42x10^{-03}$	8,00	$8,02x10^{-04}$
	Quatro canadas	0,59	$7,20x10^{-04}$	11,50	$6,26x10^{-05}$
	SB1	21,97	$2,68x10^{-02}$	14,50	$1,85x10^{-03}$
	SB2	5,80	$7,07x10^{-03}$	15,00	$4,71x10^{-04}$
	SG1 - IROA	0,17	$2,07x10^{-04}$	s.d.	s.d.
Graben	JHF8	70,00	$8,54x10^{-02}$	10,10	$8,46x10^{-03}$
	JHF9	75,00	$9,15x10^{-02}$	10,80	$8,47x10^{-03}$
Ignimbrito das Lajes	JHF7	13,20	$1,61x10^{-02}$	11,20	$1,44x10^{-03}$
	JHF6	166,67	$2,03x10^{-01}$	11,30	$1,80x10^{-02}$
s.d.	SB3	0,80	$9,73x10^{-04}$	s.d.	s.d.
	SB4	101,67	$1,24x10^{-01}$	14,50	$8,55x10^{-03}$

3.3.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha Terceira foram delimitadas onze massas de água (Figura 3.12). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

Por sua vez a enumeração das características gerais dos estratos da área das massas de água subterrâneas, delimitadas para ilha da Terceira, foram efectuadas com base nos trabalhos de Zbyszewski *et al.* (1971), Llyod & Collis (1981), Self (1974), Rodrigues (1992 & 2002), Cruz (2001 & 2004), França *et al*. (2003) e Pimentel (2006).

As massas de água delimitadas e caracterizadas são as seguintes:

- Massa de água Santa Bárbara Superior

Com uma área aflorante da ordem de 16,8 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 4,1% da superfície da Terceira, correspondendo a cinco pequenas manchas, localizadas na extremidade ocidental da ilha, e confronta com as massas de água Santa Bárbara Inferior e Biscoitos - Terra Chã. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Angra do Heroísmo.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Vulcão de Santa Bárbara, que domina todo o sector ocidental da ilha Terceira, nomeadamente às erupções de materiais de natureza traquítica.

- Massa de água Santa Bárbara Inferior

Com uma área aflorante da ordem de 84,8 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 20,8% da superfície da Terceira, correspondendo a uma extensa área que domina o sector ocidental da ilha, e confronta com as massas de água Santa Bárbara Superior e Biscoitos - Terra Chã. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Angra do Heroísmo.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Vulcão de Santa Bárbara, que domina todo o sector ocidental da ilha Terceira.

- Massa de água Biscoitos - Terra Chã

Com uma área aflorante da ordem de 58 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 14,2% da superfície da Terceira, correspondendo a uma extensa área de desenvolvimento N-S, transversal à ilha, e confronta a W com as massas de água Santa Bárbara Superior e Santa Bárbara Inferior, e para E com as massas Central e Labaçal - Quatro Ribeiras. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Angra do Heroísmo e Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde aos materiais associados ao sistema vulcânico fissural, localizado numa posição mediana entre o Vulcão de Santa Bárbara, para W, e os Vulcões do Pico Alto e de Guilherme Moniz para E.

- Massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras

Com uma área aflorante da ordem de 52,7 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 12,9% da superfície da Terceira, correspondendo a uma área na costa N da ilha, numa posição meridiana, e confronta a W com a massa Biscoitos - Terra Chã, a E com a massa Ignimbrito das Lajes, e a S com as massas Labaçal - Quatro Ribeiras e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se predominantemente no concelho de Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Vulcão do Pico Alto, que domina todo o sector ocidental da ilha Terceira, nomeadamente às erupções de materiais de natureza traquítica, predominantemente emitidos entre o Biscoito Rachado e as Furnas do Enxofre.

- Massa de água Central

Com uma área aflorante da ordem de 24,3 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 6% da superfície da Terceira, correspondendo a uma área na costa S da ilha, numa posição meridiana, e confronta a W com a massa Biscoitos - Terra Chã, a E com a massa Ribeirinha e a N com as massas Labaçal - Quatro Ribeiras e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Angra do Heroísmo.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água localiza-se numa área que contacta a N com o Vulcão de Guilherme Moniz.

- Massa de água Ignimbrito da Lajes

Com uma área aflorante da ordem de 33,5 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 8,2% da superfície da Terceira, correspondendo a uma extensa área no quadrante NE da ilha. Confronta a W com a massa Labaçal - Quatro Ribeiras, a S com as massas Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião e Graben, e para E a massa Serra de Santiago. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se predominantemente no concelho de Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água está enquadrada a W pelo Vulcão do Pico Alto, e a E pelo Graben das Lajes.

- Massa de água Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião

Com uma área aflorante da ordem de 78,1 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 19,1% da superfície da Terceira, correspondendo a uma extensa área que domina o quadrante Se da ilha. Confronta a W com as massas Ribeirinha e central, a N com as massas Labaçal - Quatro Ribeiras, Ignimbrito das Lajes, Serra do Cume e Graben. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Angra do Heroísmo e Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde aos materiais associados aos Vulcões de Guilherme Moniz e dos Cinco Picos.

- Massa de água Ribeirinha

Com uma área aflorante da ordem de 9,4 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 5,7% da superfície da Terceira, correspondendo a um área localizada na costa S, numa posição mediana, e confronta a W e N com a massa central e para W com a massa Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Angra do Heroísmo.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Serra da Ribeirinha, que ocupa uma posição mediana na Terceira, aflorando a Sul da ilha.

- Massa de água Graben

Com uma área aflorante da ordem de 17,6 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 4,3% da superfície da Terceira, correspondendo a uma área na costa E da ilha, e confronta a Sul com a massa Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião, a E com a massa Serra do Cume e a N com as massas Ignimbrito das Lajes e Serra de Santiago. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Graben das Lajes.

- Massa de água Serra do Cume

Com uma área aflorante da ordem de 23,4 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 34,5% da superfície da Terceira, correspondendo a um relevo de desenvolvimento NW-SE, localizado na extremidade oriental da ilha. Confronta a W e S com a massa de água Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião e a E com a massa Graben. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se predominantemente no concelho de Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, fissurados ou porosos, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Serra do Cume, que separa o Vulcão dos Cinco Picos, para SW, do Graben das Lajes, para NE.

- Massa de água Serra de Santiago

Com uma área aflorante da ordem de 9,4 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 2,3% da superfície da Terceira, correspondendo a uma área na extremidade NE da ilha, e confronta a W com a massa Ignimbrito das Lajes e a S com a massa Graben. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Praia da Vitória.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, essencialmente fissurados. Face às condições existentes, é expectável a existência de aquíferos de altitude, descontínuos e maioritariamente porosos, limitados inferiormente por níveis de permeabilidade muito reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao flanco NE do denominado Graben das Lajes.

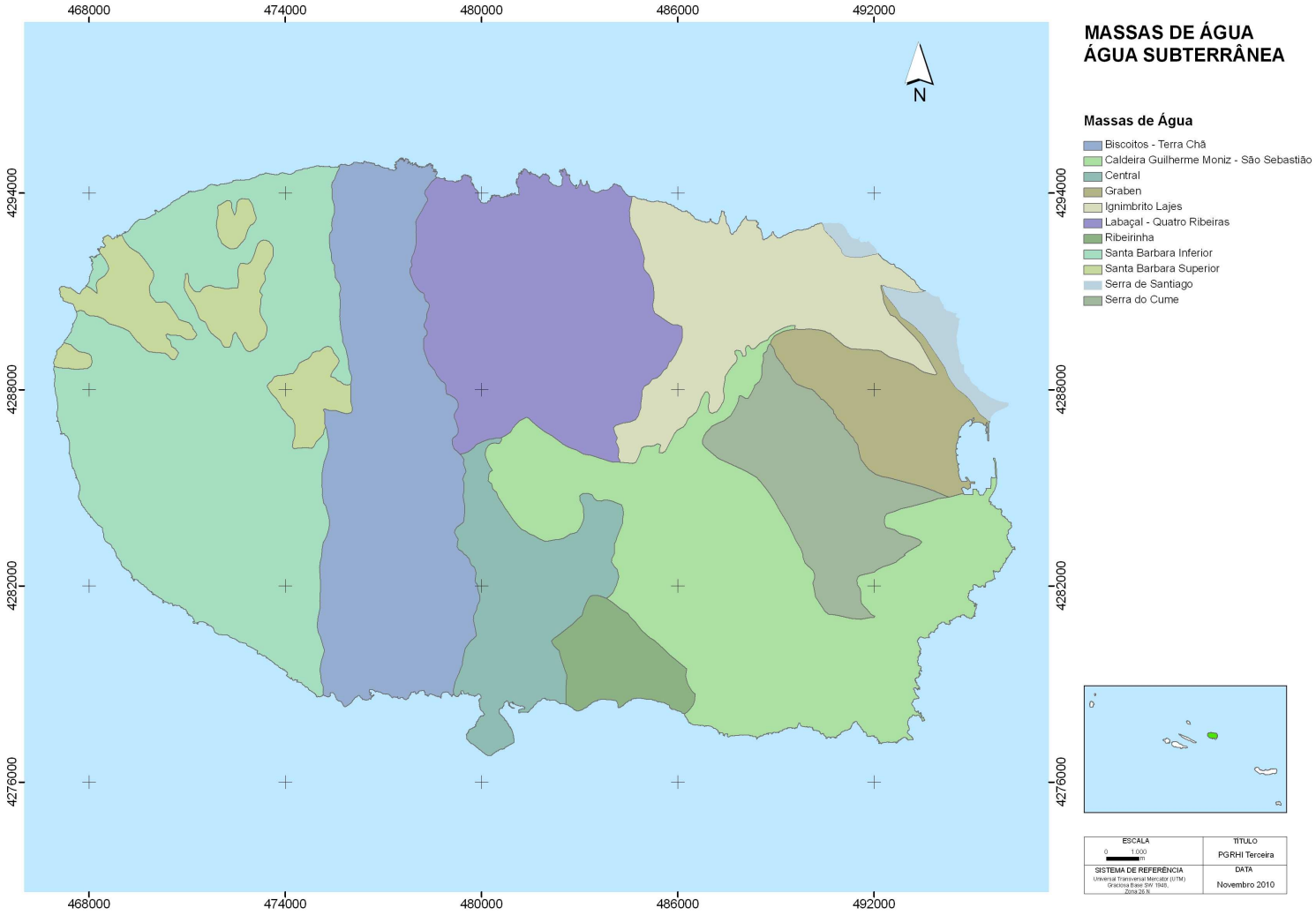


Figura 3.12 | Massas de água da ilha Terceira. (AHA-SRAM, 2011).

3.3.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Os recursos hídricos subterrâneos na ilha Terceira são, no geral, elevados, totalizando 193,1 hm^3/ano. As massas de água subterrânea com recursos mais elevados são as designadas por Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião e Biscoitos - Terra Chã, a que correspondem, respectivamente, valores iguais a 56,7 hm^3/ano e 39,1 hm^3/ano.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea da Terceira são respectivamente iguais a: 7,4 hm^3/ano (Santa Bárbara Superior), 14,7 hm^3/ano (Santa Bárbara Inferior), 23,5 hm^3/ano (Biscoitos - Terra Chã), 15,6 hm^3/ano (Labaçal - Quatro Ribeiras), 4,5 hm^3/ano (Central), 6,3 hm^3/ano (Ignimbrito das Lajes, 34 hm^3/ano (Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião), 2,1 hm^3/ano (Serra da Ribeirinha), 2,7 hm^3/ano (Graben), 4,2 hm^3/ano (Serra do Cume) e 0,94 hm^3/ano (Serra de Santiago).

3.3.4 | ÁREAS DE RECARGA

A cartografia das áreas preferenciais de recarga para a ilha Terceira assentou na metodologia descrita no caso da ilha de São Miguel.

Na figura 3.13 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha Terceira. A análise da figura mencionada anteriormente permite evidenciar a predominância das classes de recarga moderada a elevada. As classes reduzida e muito reduzida apresentam uma expressão quase vestigial.

As classes de recarga elevada e muito elevadas predominam ao longo da designada Zona Fissural da Terceira, no interior da ilha, ao longo de várias massas de água. Por seu turno, a classe moderada ocupa uma área adjacente à anterior, definindo uma cinta homogénea à volta de toda a ilha Terceira. A classe de recarga reduzida está apenas representada em pequenos sectores do terreno.

Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que as classes de recarga elevada e muito elevada ocupam uma extensa área da superfície aflorante das massas Santa Bárbara Superior, Santa Bárbara Inferior, Biscoitos - Terra Chã, Labaçal - Quatro Ribeiras, Central e Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião. Esta distribuição explica as taxas de recarga estimadas naquelas massas de água, em particular

naquelas em que este valor é mais elevado: 48,6% (Caldeira Guilherme Moniz - São Sebastião) e 43% (Biscoitos - Terra Chã).

Nas massas de água Ignimbrito das Lajes, Serra de Santiago, Graben, Serra do Cume e Ribeirinha predomina a classe de recarga moderada, com um peso variável de alguns retalhos de território atribuídos à classe elevada, e em menor proporção à classe reduzida. Esta variabilidade explica a gama de valores de recarga estimados, que variam entre 18,5% (Serra do Cume) e 31,6% (Serra de Santiago).

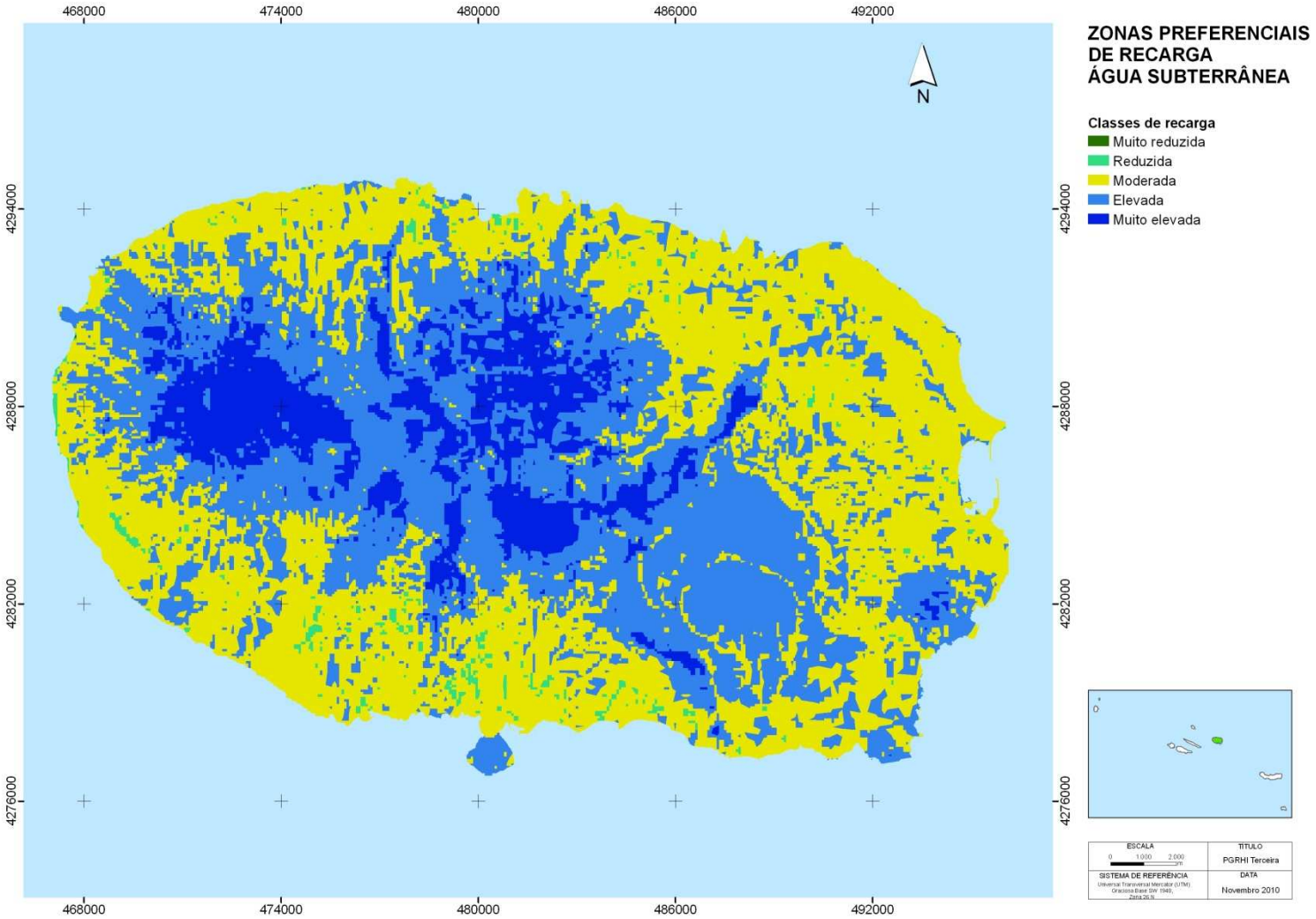


Figura 3.13 | Zonas preferênciaisde recarga de água subterrânea da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

3.3.5 | HIDROGEOQUÍMICA

As águas subterrâneas da ilha Terceira apresentam como fácies hidrogeoquímica dominante a cloretada sódica, embora se observe igualmente fácies do tipo bicarbonatada cloretada sódica e bicarbonatada sódica (Figura 3.14). As temperaturas observadas correspondem a águas frias a ortotermais, com um valor de mediana igual a 15º C. O pH das amostras de que se possuía informação indica que se tratam de águas ligeiramente ácidas a alcalinas, com os valores deste parâmetro a variar entre 6,9 e 8,1. A condutividade eléctrica das águas varia entre 55 e 1371 μS/cm (AHA-SRAM, 2011).

A alcalinidade das águas situa-se no intervalo de valores entre 6,72 e 180,49 mg/L de $CaCO_3$. Por sua vez, a dureza total varia entre 5,7 e 345 mg/L de $CaCO_3$, o que mostra que se tratam de águas brandas a muito duras, embora o valor da mediana, igual a 23,3 mg/L de $CaCO_3$, se possa classificar como branda visto ser menor que 60 mg/L de $CaCO_3$ (AHA-SRAM, 2011).

Os aniões dominantes são o cloreto e o bicarbonato. Relativamente ao primeiro dos aniões referidos, os teores distribuem-se entre 13,6 e 390,5 mg/L e, no que respeita ao segundo, entre 8,2 e 220,2 mg/L. O catião predominante é o sódio, que varia entre 16.9 e 237 mg/L.

O diagrama de Schoeller põe em evidência a homogeneidade composicional, quer considerando o conjunto das nascentes, quer o respeitante aos furos, revelando que as amostras são muito semelhantes quimicamente (Figura 3.14). O afastamento entre as linhas representativas das nascentes e dos furos reflecte a maior mineralização da água captada nos segundos.

As massas de águas subterrâneas Santa Bárbara Superior, Ignimbrito das Lajes e Serra da Ribeirinha estão representados por uma amostra cada. As condutividades eléctricas são baixas, variando entre 55 e 250 μS/cm. Nos dois primeiros casos tratam-se de águas do tipo cloretada sódica, enquanto na última unidade a fácies é bicarbonatada sódica. O catião dominante nestas massas é o sódio, cujo intervalo de valores varia entre 20,3 e 38,6 mg/L. O cloreto nas massas Santa Bárbara Superior e do Ignimbrito das Lajes é igual a 17 e 22,6 mg/L respectivamente. Na massa Serra da Ribeirinha o bicarbonato é o anião predominante, atingindo uma concentração de 44,7 mg/L.

As amostras relativas às nascentes localizadas na massa de água Santa Bárbara Inferior são cloretadas sódicas, e apresentam uma mineralização reduzida: a condutividade varia entre 78 e 130 μS/cm. O sódio é o catião mais importante, varia entre 22,4 e 51,7 mg/L, enquanto o anião dominante é o cloreto, com teores entre 17 e 27,3 mg/L.

As fácies hidroquímicas características da massa de água Biscoitos - Terra Chã são a cloretada sódica e a bicarbonatada sódica, embora só se possuam quatro análises de águas desta unidade, uma delas incompleta. A condutividade varia entre 100 e 144 μS/cm, embora atendendo ao teor de cloretos doseado no furo JHF1 se possa extrapolar um valor deste parâmetro especulativamente acima desta gama. Os aniões dominantes são o bicarbonato e o cloreto, que variam respectivamente entre 15,3 e 127,05 mg/L e 25,9 e 125,2 mg/L. O sódio é o catião mais importante, compreendendo valores entre 31,2 e 36,3 mg/L.

As fácies dominantes na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras são a cloretada sódica e bicarbonatada sódica, observando-se igualmente amostras do tipo bicarbonatada cloretada sódica. A condutividade eléctrica varia entre 115 e 187 μS/cm, o que indicia a reduzida mineralização das nascentes integradas neste sistema. O cloreto e o bicarbonato são os iões predominantes, variando respectivamente entre 17 a 41,2 mg/L e 24,4 e 59,5 mg/L. O catião mais dominante é o sódio, com teores entre 32,7 e 59,1 mg/L.

A massa de água subterrânea Central apresenta águas do tipo cloretadas sódicas e bicarbonatadas cloretadas sódicas. Os valores de condutividade eléctrica estam balizados entre 120 e 139 μS/cm. Os aniões predominantes em todo o sistema são o bicarbonato e o cloreto, que variam respectivamente entre 27,3 a 85,4 mg/L e 21,3 a 65 mg/L. O catião sódio, dominante, apresenta concentrações de 36,2 a 36,9 mg/L.

As águas amostradas na massa de água Caldeira do Guilherme Moniz - São Sebastião exprimem as seguintes fácies: bicarbonatada cloretada sódica, bicarbonatada sulfatada sódica, bicarbonatada sódica e cloretada bicarbonatada sódica. A condutividade eléctrica varia entre 100 e 550 μS/cm. Os aniões preponderantes são o bicarbonato e o cloreto. As concentrações destas espécies variam respectivamente entre 34,9 a 85 mg/L e 17 a 68,2 mg/L. O catião dominante é o sódio, que varia entre 30,6 e 50,2 mg/L.

A massa de água Serra do Cume patenteia uma grande semelhança entre a composição das várias amostras que o integram, que apresentam condutividade eléctrica baixa, distribuídas entre 110 e 160 μS/cm, e que correspondem a águas do tipo cloretada sódica e, acessoriamente, cloretada sódica magnesiana e bicarbonatada sódica. O sódio é o catião predominante, variando entre 20,4 e 49,2 mg/L, enquanto os aniões dominantes são o cloreto e o bicarbonato, que apresentam teores respectivamente entre 21,5 a 30,7 mg/L e 16,8 a 47,5 mg/L.

Na massa de água Graben a fácies predominante é a cloretada sódica, embora duas amostras se enquadrem respectivamente no tipo bicarbonatada sódica e bicarbonatada cloretada sódica. As amostras dos pontos de água integrados na apresentam uma grande

dissemelhança do ponto de vista da composição química, o que resulta de se agregarem nascentes e furos e, nestes últimos, a magnitude da mineralização é mais elevada: esta diferença é evidenciada pelos valores da condutividade eléctrica, que variam entre 116 e 1371 µS/cm, com uma mediana igual a 520 µS/cm. Os aniões mais importantes no contexto da mineralização das águas são o cloreto, com concentrações entre 18,6 e 390,5 mg/L, e o bicarbonato, que varia entre 29,3 e 220,2 mg/L.O sódio corresponde ao catião dominante, com teores entre 20,2 e 237 mg/L.

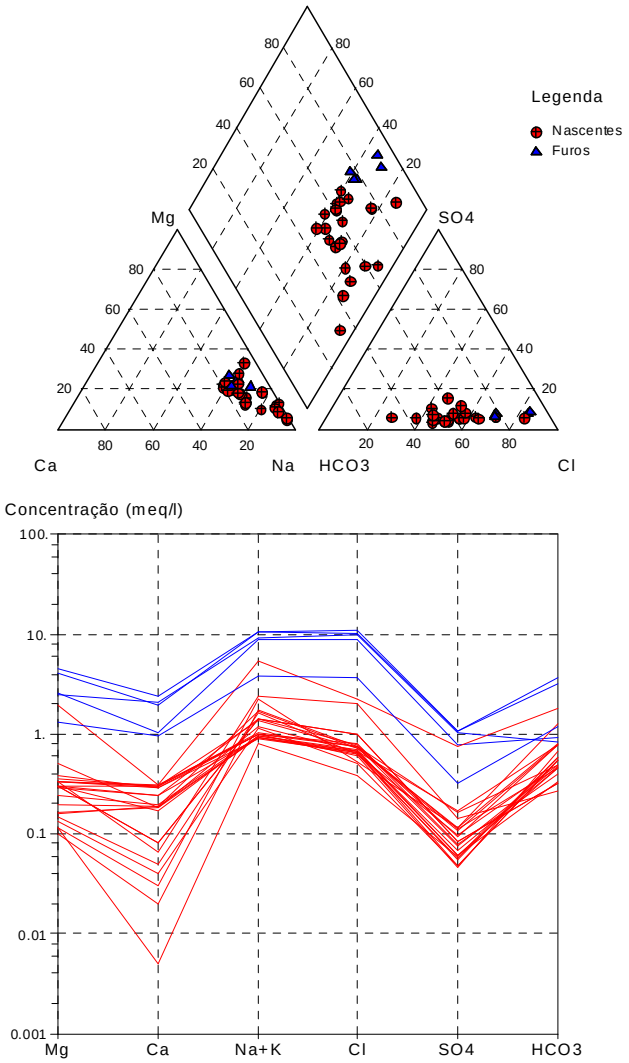


Figura 3.14 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha Terceira (Cruz, 2004).

3.3.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

No âmbito da elaboração do PGRH da ilha Terceira, a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em seis classes (Aller *et al.*, 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha Terceira corresponde às classes de elevada e baixa a moderada vulnerabilidade à poluição. A classe de baixa a moderada vulnerabilidade dominam o sector NE e a extremidade ocidental da ilha Terceira, enquanto a classe de vulnerabilidade elevada domina a zona central e o quadrante SE (Figura 3.15).

Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pelas massas Biscoitos - Terra Chã e Caldeira de Guilherme Moniz - São Sebastião predomina a classe de elevada vulnerabilidade. A classe de baixa a média vulnerabilidade corresponde à maioria da área aflorante das massas Santa Bárbara Superior, Serra do Cume, Graben e Ignimbrito das Lajes, enquanto as massas Labaçal - Quatro Ribeiras, Santa Bárbara Inferior, Serra de Santiago e Ribeirinha apresentam, para além de áreas dominadas por esta classe, zonas onde predomina a classe de baixa vulnerabilidade. Por sua vez, maior parte da área aflorante da massa de água Central corresponde à classe de baixa vulnerabilidade.

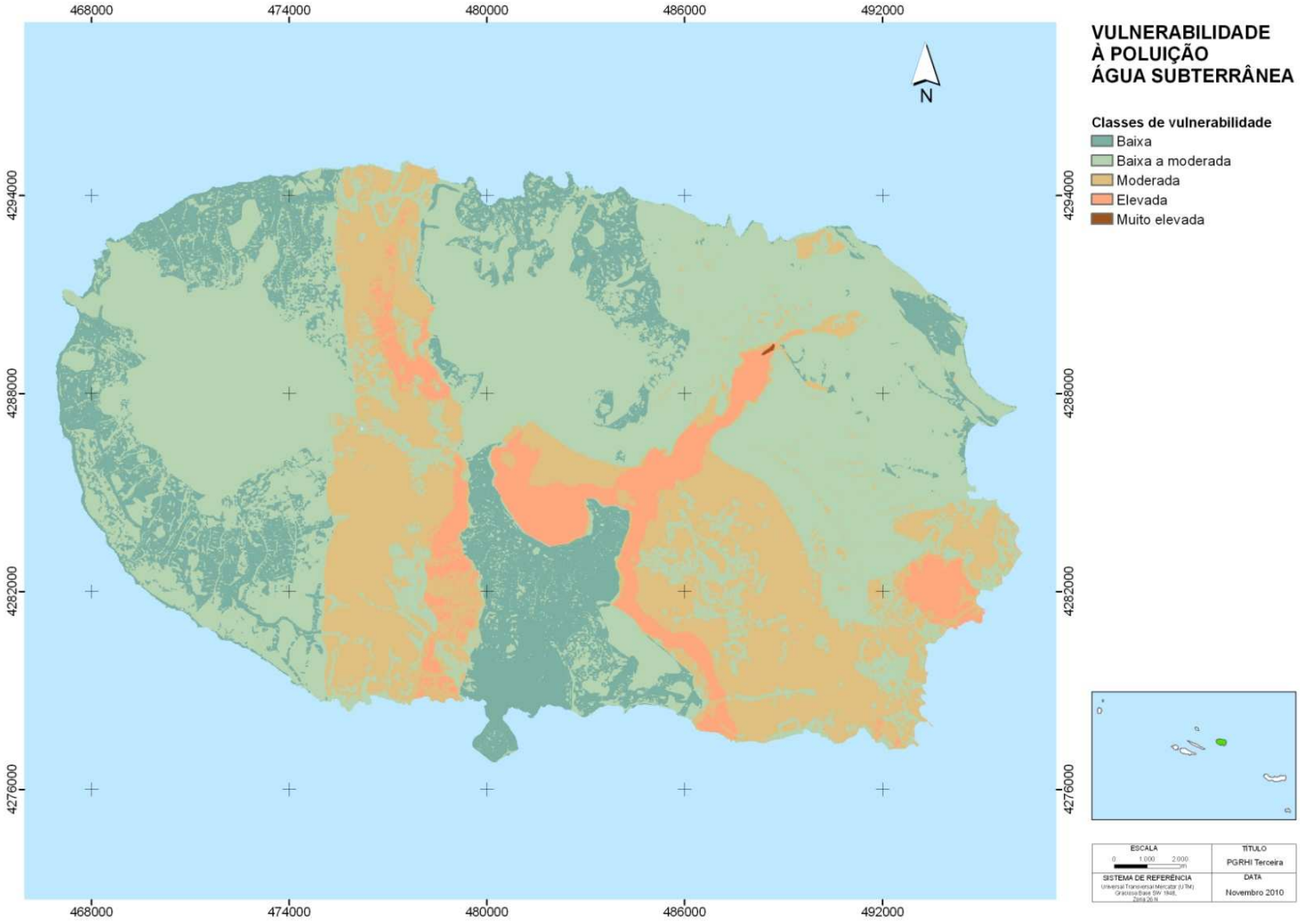


Figura 3.15 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha Terceira (AHA-SRAM, 2011).

3.4 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA GRACIOSA

3.4.1| CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água assentou em quatro bases fundamentais: o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha, o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água, (PRA), (Cruz, 2001a), o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Coutinho *et al*., 2007). Optou-se por considerar esta última base como a mais completa e pormenorizada, complementando-a com as outras fontes supracitadas, uma vez que foi baseada em trabalhos de campo, que pressupuseram a visita a todos os pontos de água captados para uso humano, realizados com o apoio das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento. Relativamente aos pontos não captados, a única fonte utilizada correspondeu ao levantamento do PRA, na medida que os restantes estudos não os abrangem.

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 28 nascentes (0,46 nascentes/km^2) e 20 furos (0,33 furos/km^2), encontra-se representada na figura 3.16 Relativamente à distribuição das nascentes, ocorrem 10, na massa de água Serra das Fontes , seis na massa Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, cinco na massa Serra Dormida, quatro na massa Compósito, dois na massa Sequencia Hidromagmática Superior e apenas um na massa de água Luz - Rebentão da Lagoa. No que concerne à distribuição dos furos de captação, na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe ocorrem 12 captações, embora se desconheça a localização de outros oito furos instalados no passado.

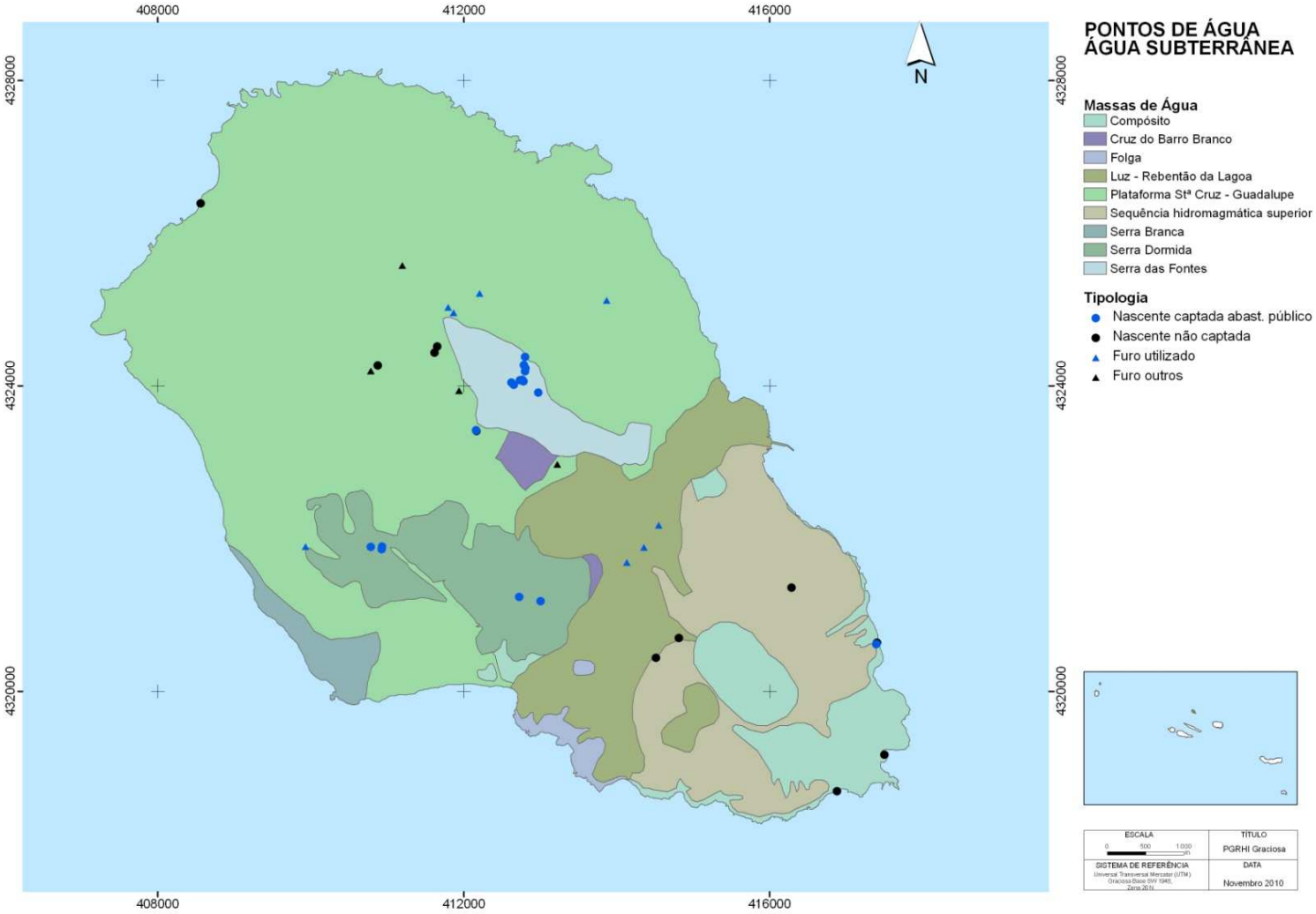


Figura 3.16 | Distribuição de pontos de água na ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

O caudal específico na ilha Graciosa varia entre 1,36 e 266,7 L/sm (mediana = 142,86 L/sm), constatando-se que todos os valores respeitam a captações instaladas na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, o que denota a grande variabilidade observada nesta unidade (Tabela 3.3).

Da leitura do Tabela 3.3, pode verificar-se que a transmissividade varia entre $1{,}66x10^{-3}$ e $3{,}25x10^{-1}$ m^2/s, (mediana = $1{,}02x10^{-1}$ m^2/s), e apresenta um comportamento similar ao caudal específico. As estimativas de condutividade hidráulica apresentam os valores médio e de mediana respectivamente iguais a $4{,}56x10^{-2}$ m/s e $2{,}54x10^{-2}$ m/s na mesma massa de água subterrânea.

Tabela 3.3 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/sm)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	JHF2 ou IT2	33,33	$4{,}07x10^{-02}$	11,60	$3{,}51x10^{-03}$
	JHF1 ou IT1	31,25	$3{,}81x10^{-02}$	11,53	$3{,}31x10^{-03}$
	AC3	192,50	$2{,}35x10^{-01}$	5,00	$4{,}70x10^{-02}$
	AC2	142,86	$2{,}69x10^{-02}$	2,00	$1{,}35x10^{-02}$
	AC1	200,00	$2{,}44x10^{-01}$	1,00	$2{,}44x10^{-01}$
	JK5	177,50	$2{,}17x10^{-01}$	8,52	$2{,}54x10^{-02}$
	JK4	200,00	$1{,}10x10^{-01}$	3,00	$3{,}65x10^{-02}$
	JK3	1,36	$1{,}66x10^{-03}$	s.d.	s.d.
	JK2	83,30	$1{,}02x10^{-01}$	s.d.	s.d.
	JK1	266,67	$3{,}25x10^{-01}$	9,00	$3{,}61x10^{-02}$
	Fontes	5,71	$1{,}46x10^{-02}$	12,00	$1{,}22x10^{-03}$

3.4.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha Graciosa foram delimitadas nove massas de água (Figura 3.17). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

A descrição das características gerais dos estratos da área de drenagem das massas de água subterrâneas delimitadas na ilha Graciosa foi efectuada com base nos trabalhos de Zbyszewski (1970), Zbyszewski *et al.* (1972), Maund (1985), Gaspar & Queiroz (1995), Gaspar (1996), Cruz (2001a & 2004) e França *et al*. (2003).

As massas de água delimitadas são as seguintes:

- Massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe

Com uma área aflorante da ordem de 34,41 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 56,2% da superfície da Graciosa, dominando o sector ocidental da ilha; confronta a E com as massas Serra das Fontes, Cruz do Barro Branco, Serra Dormida, Compósito e Luz - Rebentão da Lagoa, e a S com a massa Serra Branca. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos em altitude, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, porosos e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra escoadas lávicas e piroclastos subaéreos indiferenciados, assim como as emissões dos Picos da Terça e de Barcelos, pertencentes ao Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, Unidade de Vitória, que definem um relevo positivo que se alonga sensivelmente de W.

- Massa de água Serra das Fontes

Com uma área aflorante da ordem de 1,95 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 1,7% da superfície da Graciosa, correspondendo a um relevo acentuado, localizado na zona central da ilha, numa posição mediana, confronta a N e W com a massa plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, e a S com as massas Cruz do Barro Branco e Luz - Rebentão da Lagoa. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos em altitude, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, fissuradoe ou porosos, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico da Serra das Fontes, que corresponde à unidade geológica mais antiga da ilha.

- Massa de água Cruz do Barro Branco

Com uma área aflorante da ordem de 0,42 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 0,7% da superfície da Graciosa, correspondendo a um pequeno sector localizado no interior da ilha, numa posição mediana, e confrontando com as massas

Serra das Fontes e Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos do tipo basal, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos em altitude, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico da Serra Branca. Este Complexo apresenta termos vulcânicos mais evoluídos, nomeadamente escoadas lávicas espessas e depósitos vulcaniclásticos de natureza traquítica.

- Massa de água Serra Dormida

Com uma área aflorante da ordem de 4,2 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 6,9% da superfície da Graciosa, correspondendo a um sector transversal à ilha, numa posição de charneira entre o modelado característico das metades ocidental e oriental. Confronta a SE com as massas Compósito e Sequência Hidromagmática Superior, e para NW com as massas Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, Serra das Fontes e Serra Dormida. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, predominantemente porosos, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra piroclastos subaéreos indiferenciados e piroclastos do Pico das Caldeirinhas e do Pico Timão, pertencentes ao Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, Unidade de Vitória, que definem um relevo positivo que se alonga sensivelmente de W.

- Massa de água Serra Branca

Com uma área aflorante da ordem de 1,04 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 2,53% da superfície da Graciosa, correspondendo a um sector limitado à costa S da ilha, na sua metade ocidental, e confronta a N com a massa Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos do tipo basal, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos em altitude, livres e

semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico da Serra Branca. Este Complexo apresenta termos vulcânicos mais evoluídos, nomeadamente escoadas lávicas espessas e depósitos vulcaniclásticos de natureza traquítica.

- Massa de água Compósito

Com uma área aflorante da ordem de 3,96 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 6,5% da superfície da Graciosa, correspondendo à bordadura SE, assim como a um sector numa posição central em relação ao edifício vulcânico que domina a metade oriental da ilha. Confronta com as massas de água subterrânea Sequência Hidromagmática Superior e Luz - Rebentão da Lagoa. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basal, porosos e fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, especificamente na Séries Inferior e Superior da Unidade do Vulcão Central (Subunidades A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L M, N, O, P e Q). A Unidade do Vulcão Central engloba as escoadas lávicas e os depósitos piroclásticos associados a diversos centros eruptivos localizados no sector SE da ilha.

- Massa de água Luz - Rebentão da Lagoa

Com uma área aflorante da ordem de 7,02 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 11,5% da superfície da Graciosa, correspondendo ao sector ocidental da ilha, e confronta a E com a massa Central. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos em altitude, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, Unidade de Vitória.

- Massa de água Folga

Com uma área aflorante da ordem de 0,49 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 0,8% da superfície da Graciosa, correspondendo a um pequeno sector localizado na costa S da ilha, na sua metade oriental, e confronta a N com a massa Luz - Rebentão da Lagoa. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos do tipo basal, fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos em altitude, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, especificamente na Série Superior da Unidade do Vulcão Central (Subunidade R). A Unidade do Vulcão Central engloba as escoadas lávicas e os depósitos piroclásticos associados a diversos centros eruptivos localizados no sector SE da ilha.

- Massa de água Sequência Hidromagmática Superior

Com uma área aflorante da ordem de 7,69 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 12,6% da superfície da Graciosa, correspondendo a um extenso sector na metade oriental da ilha, confrontando em toda a sua bordadura com a massa Compósito, e a NW com a massa Luz - Rebentão da Lagoa. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Santa Cruz da Graciosa.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basal, porosos e fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água integra-se no Complexo Vulcânico de Vitória - Vulcão Central, especificamente na Série Superior da Unidade do Vulcão Central (Subunidade S, T e V). A Unidade do Vulcão Central engloba as escoadas lávicas e os depósitos piroclásticos associados a diversos centros eruptivos localizados no sector SE da ilha.

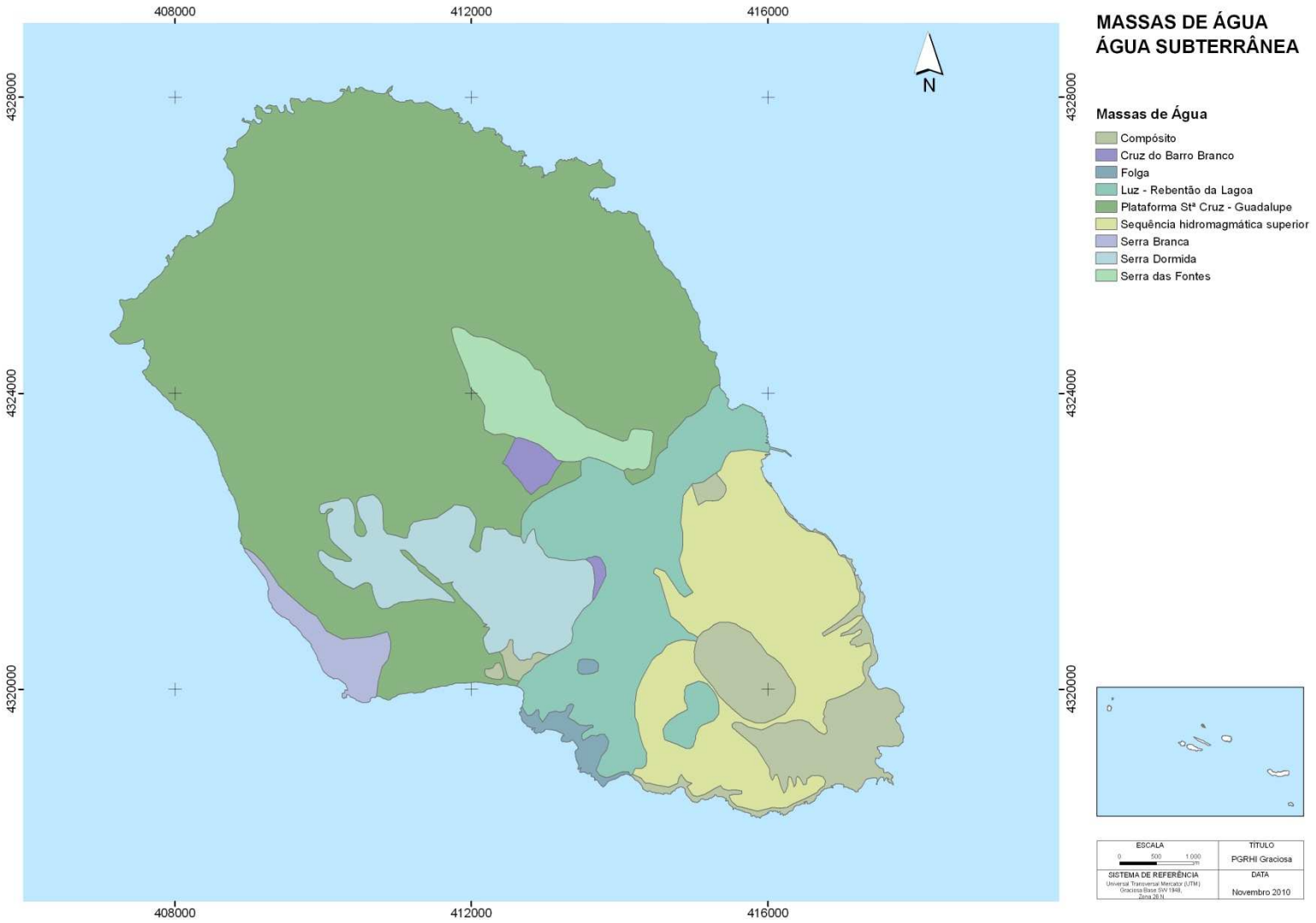


Figura 3.17 | Massas de água da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

3.4.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Na ilha Graciosa os recursos hídricos subterrâneos são no geral elevados, totalizando 582 hm^3/ano. A massa de água com recursos mais elevados é a designada por Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, a que corresponde um volume de recursos subterrâneos igual a 9,14 hm^3/ano.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea da Graciosa são respectivamente iguais a: 0,37 hm^3/ano (Sequencia Hidromagmática Superior), 0,1 hm^3/ano (Serra Branca), 0,43 hm^3/ano (Serra das Fontes), 0,88 hm^3/ano (Serra Dormida), 5,5 hm^3/ano (Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe), 0,29 hm^3/ano (Compósito), 0,12 hm^3/ano (Complexo do Barro Branco), 0,03 hm^3/ano (Folga) e 1,3 hm^3/ano (Luz - Rebentão da Lagoa).

3.4.4 | ÁREAS DE RECARGA

Na figura 3.18 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha Graciosa. Da análise da figura referida anteriormente podemos afirmar que na ilha predominam as classes de recarga moderada a elevada, embora se observem regiões representativas de todas as classes. As classes de recarga moderada a elevada predominam na metade ocidental da ilha Graciosa, enquanto na extremidade SE dominam as classes moderada a reduzida. A classe de recarga muito reduzida está apenas representada em pequenos sectores da faixa costeira a SE da Graciosa.

Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que as classes de recarga elevada e muito elevada ocupam uma extensa área da superfície aflorante da massa Luz - Rebentão da Lagoa, e uma área menos significativa, mas mesmo assim importante das massas de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe e Serra Dormida. Nestas últimas, a classe de recarga elevada distribui-se, respectivamente, na zona central e numa região a N das respectivas superfícies.

Em contraste, nas áreas de influências das massas de água Serra Branca, Folga, Compósito, Serra das Fontes, Cruz do Barro Branco e Sequência Hidromagmática Superior predominam as classes de recarga moderada a reduzida. Na área das massas Serra Dormida, Cruz do Barro Branco e Sequência Hidromagmática Superior ocorrem algumas zonas onde a classe de recarga é elevada.

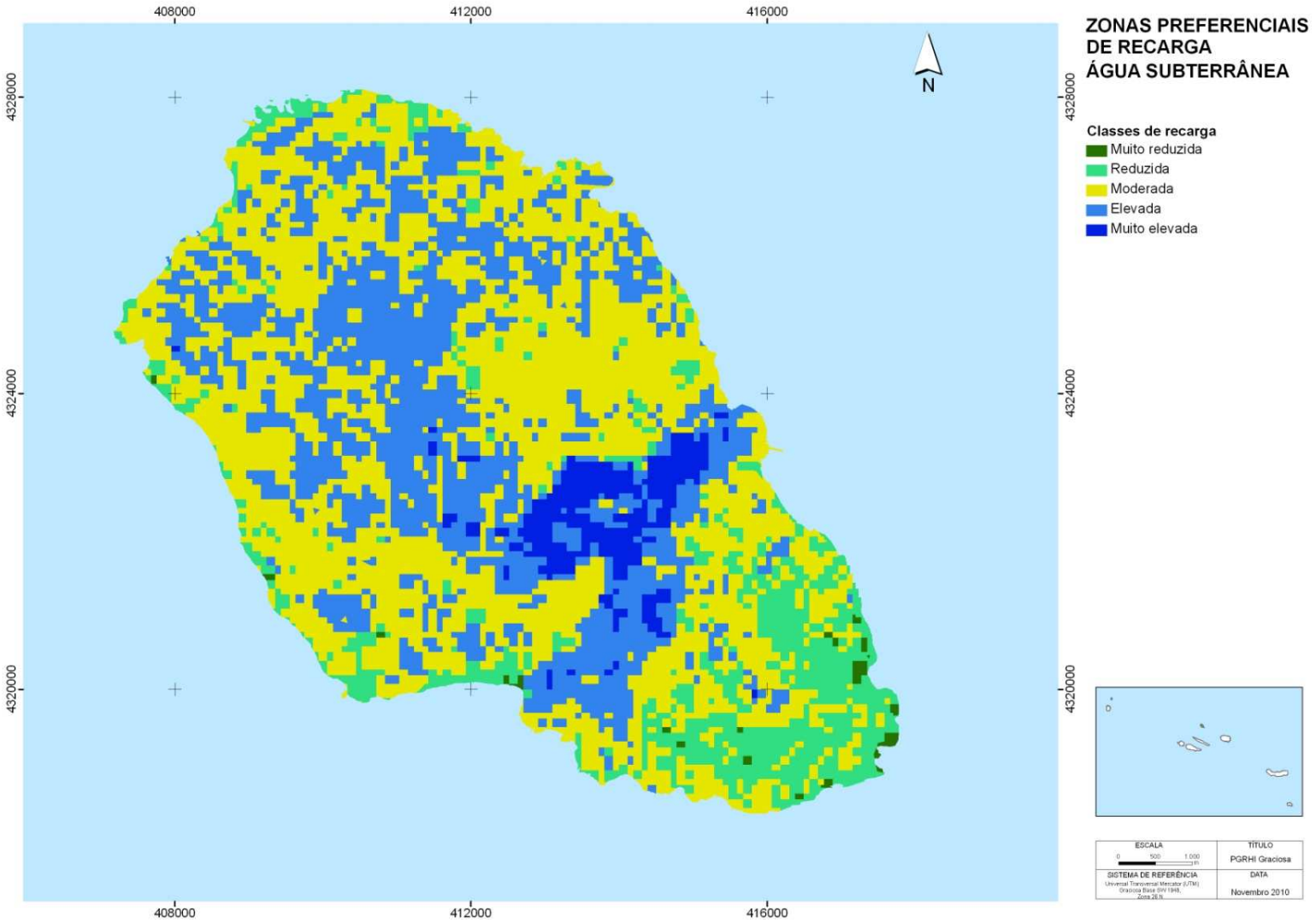


Figura 3.18 | Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

3.4.5 | HIDROGEOQUÍMICA

As águas subterrâneas na ilha Graciosa apresentam uma fácies predominante do tipo cloretada sódica, embora ocorram amostras com tendência sódica magnesiana e sódica cálcica (Figura 3.19). As amostras são predominantemente alcalinas, em que o valor da mediana do pH é igual a 7,35, o que é característico de meios vulcânicos em que a litologia corresponde a formações basálticas *s.l.*. O valor da mediana da alcalinidade é igual a 36,5 mg/L de $CaCO_3$, variando entre 19,7 e 101,7 mg/L de $CaCO_3$.

A dureza total varia entre 41,7 a 314,5 mg/L de $CaCO_3$, com um valor de mediana igual a 48,6 mg/L de $CaCO_3$. Assim, existem águas brandas a muito duras, embora o valor da mediana deste parâmetro se enquadre no grupo das águas brandas.

A condutividade apresenta um valor de mediana igual a 256 μS/cm, variando entre 195 e 1768 μS/cm, o que indica a ocorrência de águas já com mineralização elevada. O cloreto e o sódio são os iões predominantes, apresentando gamas de valores respectivamente entre 38,6 a 499,8 mg/L e 24,2 a 227,5 mg/L.

As águas amostradas são predominantemente frias, embora no decorrer do presente estudo tenham sido inventariadas algumas nascentes termais: Carapacho e Homiziados e Varadouro.

O diagrama de Schoeller relativo às águas subterrâneas da ilha Graciosa mostra uma acentuada diferença entre nascentes e furos, mas as análises destes dois grupos apresentam uma homogeneidade composicional considerados isoladamente (Figura 3.19).

Nas massas de água subterrânea Serra Dormida e Serra das Fontes as fácies predominantes são cloretadas sódicas, correspondendo a águas pouco mineralizadas, com a condutividade das amostras a variar respectivamente entre 254 a 318 μS/cm e 195 a 317 μS/cm. O diagrama de Schoeller revela uma grande homogeneidade da composição química das várias amostras nestas massas, bem como uma clara dominância do sódio, relativamente aos outros catiões, e do cloreto, relativamente aos outros aniões. Os teores de sódio e de cloreto na massa Serra Dormida distribuem-se respectivamente entre 27,4 a 43,3 mg/L e 39,1 a 90,6 mg/L, enquanto na massa Serra das Fontes variam entre 24,2 a 35,5 mg/L e 38,6 a 49,2 mg/L.

A massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe apresenta como fácies predominantes a cloretada sódica e cloretada sódica magnesiana, apresenando valores de condutividade que variam entre 872 μS/cm a 1768 μS/cm, com um valor de mediana igual a 1340 μS/cm, valores, substancialmente mais elevados que os das unidades referidas anteriormente. Esta diferença resulta do facto de nesta massa a água ser captada mediante

furos, num aquífero de base, ao contrário das unidades anteriores, onde as nascentes emergem de aquíferos em altitude. A maior mineralização é reflectida, igualmente, nos teores mais elevados dos iões predominantes, o sódio e o cloreto, que variam respectivamente entre 69,9 a 227,5 mg/L e 206,2 a 499,8 mg/L.

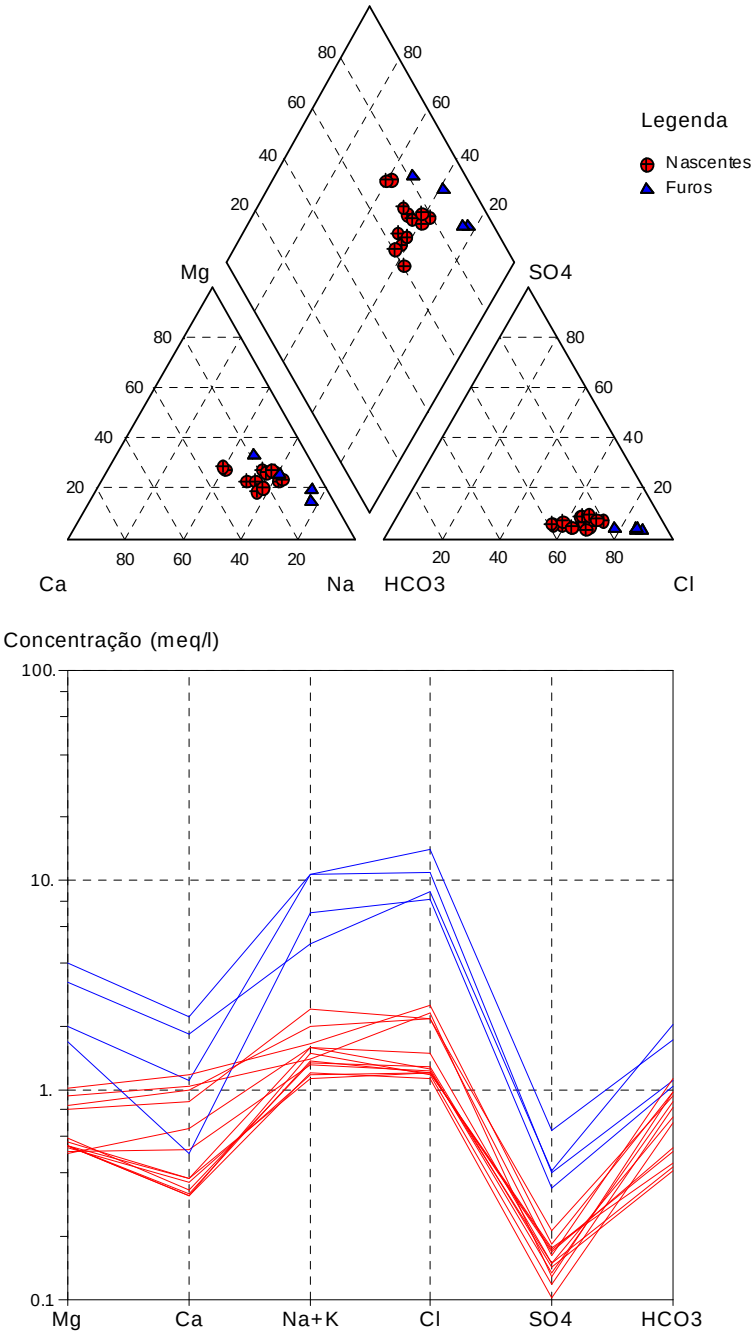


Figura 3.19 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha Graciosa (Cruz, 2004).

3.4.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Na ilha Graciosa a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em seis classes (Aller *et al*., 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície do sector ocidental da ilha corresponde à classe de baixa a moderada vulnerabilidade à poluição, enquanto na zona central ocorre uma faixa de terreno em que a vulnerabilidade se pode designar como predominantemente elevada (Figura 3.20). Por outro lado, na extremidade oriental da ilha, prevalecem as classes de vulnerabilidade baixa a moderada e baixa.

Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pela massa Luz - Rebentão da Lagoa sobressai a classe de elevada vulnerabilidade. A classe de baixa a média vulnerabilidade corresponde à maioria da área aflorante da massa Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, enquanto a classe de vulnerabilidade baixa prepondera nas zonas ocupadas pelas massas Serra das Fontes e Serra Dormida. As restantes massas apresentam áreas que podem ser classificadas de baixa a muito baixa vulnerabilidade à poluição.

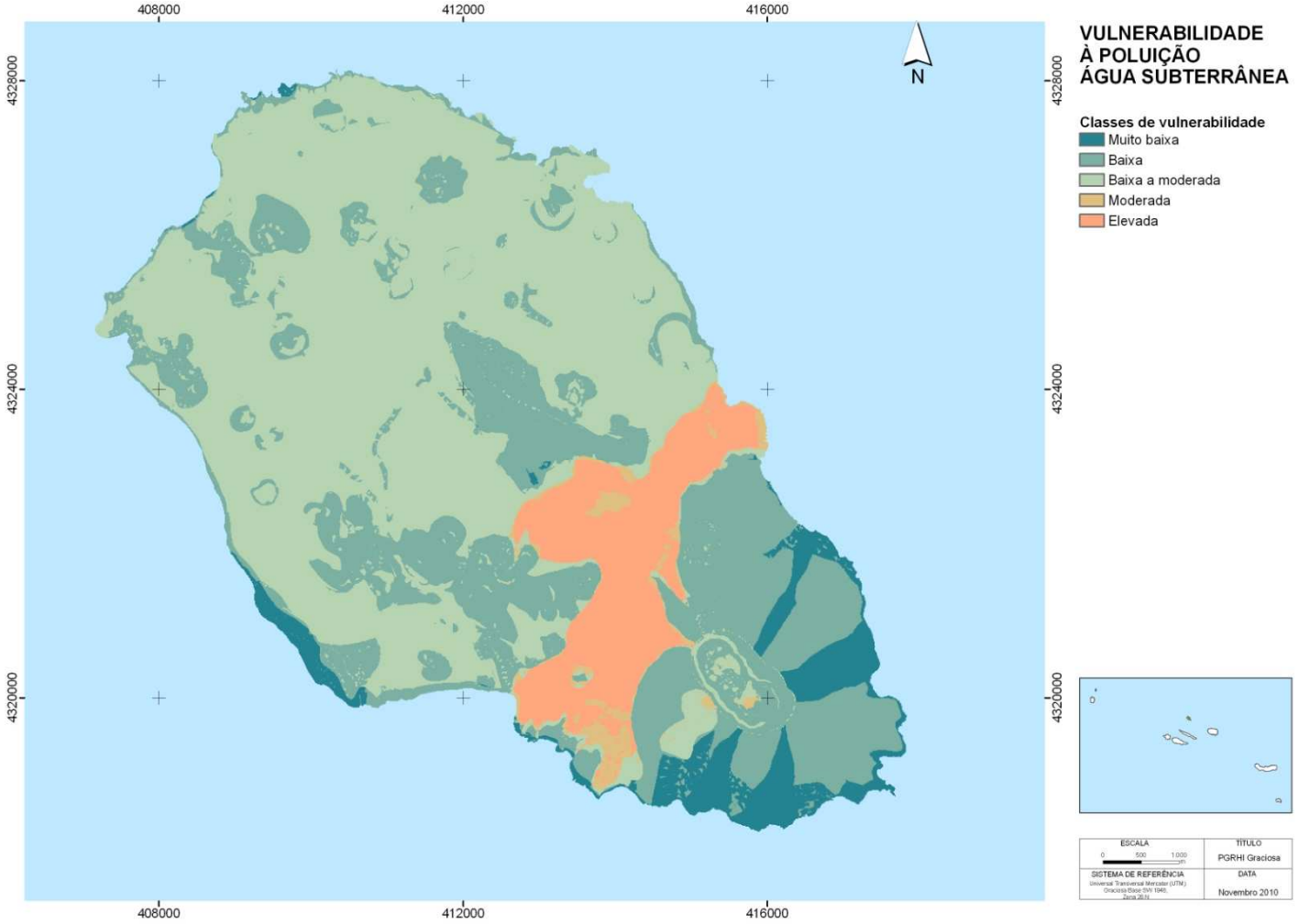


Figura 3.20 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha Graciosa (AHA-SRAM, 2011).

3.5 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA DO FAIAL

3.5.1| CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água baseou-se em quatro referências fundamentais: o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha; o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água (Cruz, 2001a); o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às origens de água (Coutinho *et al*., 2007). Este último assentou em trabalhos de campo, que pressupuseram a visita a todos os pontos de água, captados para uso humano e foram realizados com o apoio das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento; nesta medida, optou-se por considerar esta base como a mais completa e pormenorizada, complementando-a com as outras fontes. Relativamente aos pontos não captados, a única fonte utilizada correspondeu ao levantamento do PRA, uma vez que os restantes estudos não os abrangem.

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 57 nascentes (0,33 nascentes/km^2) e 14 furos (0,08 furos/km^2), encontra-se representada na figura 3.21. Relativamente à distribuição das nascentes, 44 na massa de água Caldeira, cinco na massa Capelo, cinco na massa Cedros - Castelo Branco, e apenas três na massa Pedra-Pomes da Caldeira. No que concerne à distribuição dos furos de captação, encontram-se sete na massa de água Flamengos - Horta, quatro na massa Cedros - Castelo Branco, enquanto nas massas Capelo, Pedro Miguel, e Pedra-Pomes da Caldeira foram inventariados apenas um furo em cada uma.

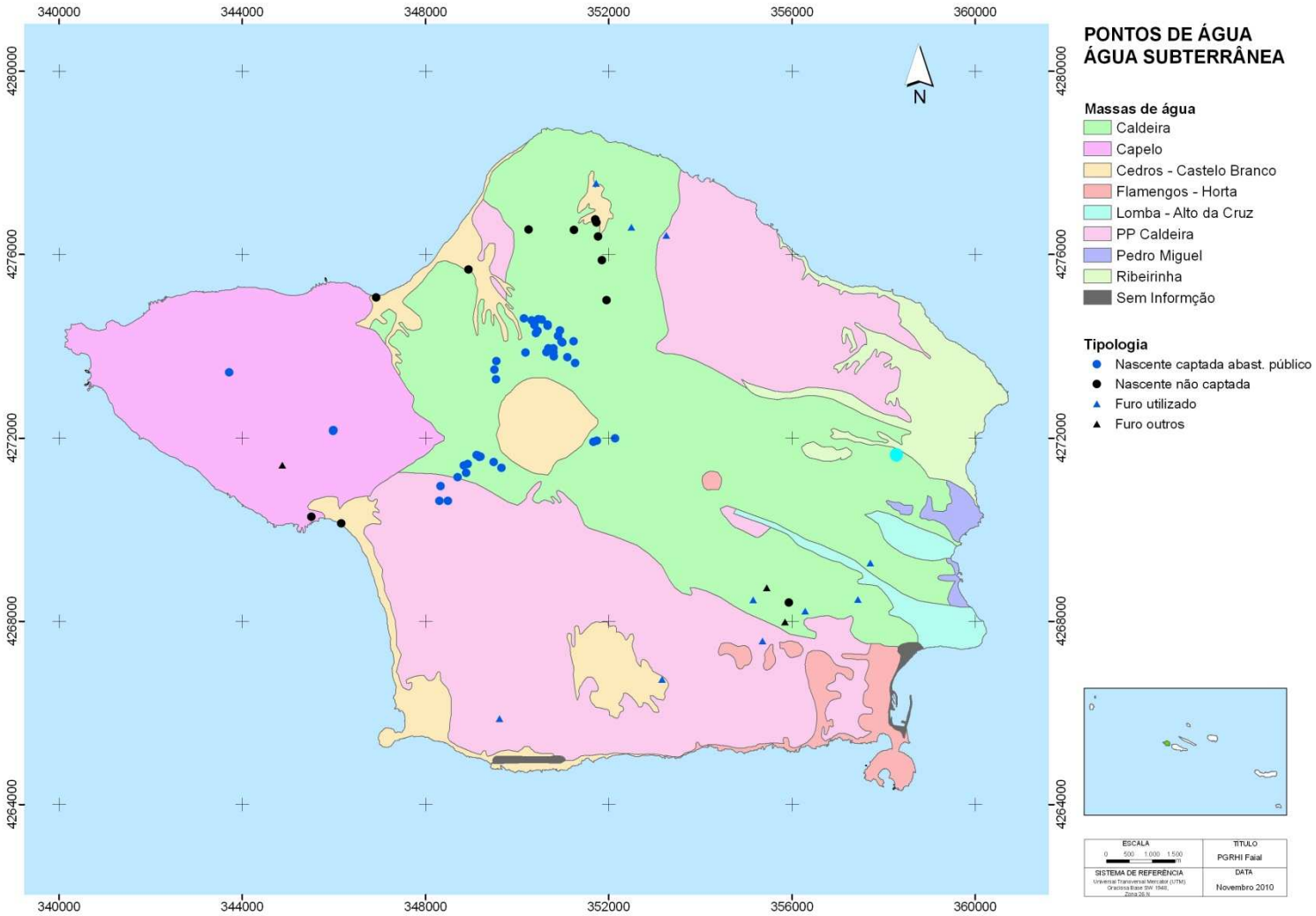


Figura 3.21 | Distribuição de pontos de água na ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Na ilha do Faial o caudal específico varia entre 1 e 200 L/sm (mediana = 74,17 L/sm), constatando-se que ambos os valores respeitam a captações instaladas na massa de água Flamengos - Horta, evidenciando a grande variabilidade observada nesta unidade (Tabela 3.4). Por outro lado, os valores de caudal específico relativos à massa de água Cedros - Castelo Branco são mais homogéneos, apontando para um valor médio superior.

Da leitura do Tabela 3.4, pode verificar-se que a transmissividade varia entre $9{,}72x10^{-4}$ e $4{,}03x10^{-1}$ m^2/s, (mediana = $2{,}69x10^{-2}$ m^2/s), e apresenta um comportamento similar ao caudal específico. As estimativas de condutividade hidráulica apresentam o mesmo valor médio nas referidas massas de água ($1{,}60x10^{-2}$ m/s), superior aos observados nas restantes massas.

Tabela 3.4 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/sm)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Capelo	AC4	11,56	$1{,}62x10^{-02}$	2,50	$6{,}47x10^{-03}$
Cedros - Castelo Branco	JHF2	77,27	$1{,}39x10^{-01}$	7,80	$1{,}78x10^{-02}$
	AC2	75,00	$2{,}69x10^{-02}$	2,00	$1{,}35x10^{-02}$
	JK3	90,00	$8{,}45x10^{-02}$	5,00	$1{,}69x10^{-02}$
Flamengos - Horta	JHF4	1,00	$9{,}72x10^{-04}$	8,50	$1{,}14x10^{-04}$
	JHF3	200,00	$4{,}03x10^{-01}$	9,60	$4{,}20x10^{-02}$
	AC3	73,33	$4{,}81x10^{-02}$	3,00	$1{,}60x10^{-02}$
	AC1	8,57	$8{,}17x10^{-03}$	10,45	$7{,}82x10^{-04}$
	JK4	86,67	$1{,}06x10^{-01}$	5,00	$2{,}11x10^{-02}$
	JK1	9,75	$1{,}19x10^{-02}$	4,00	$2{,}97x10^{-03}$
Pedro Miguel	JHF1	1,39	$1{,}69x10^{-03}$	s.d.	s.d.

3.5.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha do Faial foram delimitadas oito massas de água (Figura 3.22). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA - SRAM, 2011).

A descrição das características gerais dos estratos da área de drenagem das massa de água subterrânea delimitadas na ilha do Faial foi efectuada com base nos trabalhos de Zbyszewski *et al.* (1959), Mourisseau (1987), Serralheiro *et al*. (1989), Madeira (1998), Coutinho (2000), Pacheco (2001), Cruz (2001a e 2004) e França *et al*. (2003).

As massas de água delimitadas e caracterizadas são as seguintes:

- Massa de água Capelo

Com uma área aflorante da ordem de 27,7 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 15,9% da superfície do Faial; corresponde ao sector mais ocidental da ilha, e confronta a E com as massas Caldeira, Pedra-Pomes da Caldeira e Cedros - Castelo Branco. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, fissurados ou porosos, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo do Capelo e aos produtos vulcânicos decorrentes das erupções históricas (1672-73; 1957-58), e que compreende o vulcanismo fissural da região W da ilha do Faial.

- Massa de água Caldeira

Com uma área aflorante da ordem de 60 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 34,5% da superfície do Faial, correspondendo a uma extensa área nos sectores central, setentrional e oriental da ilha, e confrontando com todas as restantes massas delimitadas. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, predominantemente porosos, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Formação da Caldeira, que ocupa uma vasta área da superfície da ilha do Faial e engloba uma série de depósitos associados ao vulcanismo explosivo no actual vulcão central, nomeadamente os que apresentam características de fluxo. Estes materiais ter-se-ão formado na sequência do colapso de colunas eruptivas plinianas e estão bem representados no interior do Graben de Pedro Miguel, na vertente N do vulcão central actual e junto do bordo da caldeira.

- Massa de água Cedros - Castelo Branco

Com uma área aflorante da ordem de 12,6 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 7,2% da superfície do Faial, correspondendo a cinco manchas,

distribuídas junto das costas W e S da ilha, bem como na zona central, e confronta com as massas Caldeira, Pedra-Pomes da Caldeira e Capelo. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo dos Cedros, que agrega todos os materiais vulcânicos emitidos no actual vulcão central, mas que não estão associados à génese da caldeira.

- Massa de água Pedra-Pomes da Caldeira

Com uma área aflorante da ordem de 56,7 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 32,6% da superfície do Faial, correspondendo a importantes zonas a N e a S da ilha, e confronta com todas as restantes massas delimitadas. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, porosos, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Formação da Caldeira, que ocupa uma vasta área da superfície da ilha do Faial e engloba uma série de depósitos associados ao vulcanismo explosivo no actual vulcão central, nomeadamente os que apresentam características de queda.

- Massa de água Ribeirinha

Com uma área aflorante da ordem de 8,1 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 4,7% da superfície do Faial; corresponde ao sector na extremidade NE da ilha, e confronta a W com as massas Caldeira e Pedra-Pomes da Caldeira, e a S com a massa Pedro Miguel. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, porosos ou fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo da Ribeirinha, associado a um antigo vulcão compósito, que domina a extremidade NE da ilha do Faial.

- Massa de água Pedro Miguel

Com uma área aflorante da ordem de 1,15 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 0,7% da superfície do Faial, correspondendo a duas pequenas manchas na costa E da ilha, e confronta a S e a W, com as massas Caldeira e Lomba - Alto da Cruz, respectivamente, e a N com a massa Ribeirinha. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basal, formado por aquíferos predominantemente fissurados, condicionados pela tectónica local.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Formação do Almoxarife, associada ao vulcanismo fissural da região leste da ilha, e que domina a extremidade SE da ilha do Faial.

- Massa de água Lomba - Alto da Cruz

Com uma área aflorante da ordem de 3,4 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 2% da superfície do Faial, correspondendo a duas pequenas manchas na costa E da ilha, e confronta com as massas Pedro Miguel, Caldeira e Pedra-Pomes da Caldeira. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, porosos ou fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo da Ribeirinha, associado a um antigo vulcão compósito, que domina a extremidade NE da ilha do Faial.

- Massa de água Flamengos - Horta

Com uma área aflorante da ordem de 4,1 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 2,4% da superfície do Faial, correspondendo a um pequeno sector na extremidade SE da ilha, e confronta a N e a W com as massas Caldeira e Pedra-Pomes da Caldeira. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Horta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais e de altitude, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde à denominada Formação do Almoxarife, associada ao vulcanismo fissural da região leste da ilha, e que domina a extremidade SE da ilha do Faial.

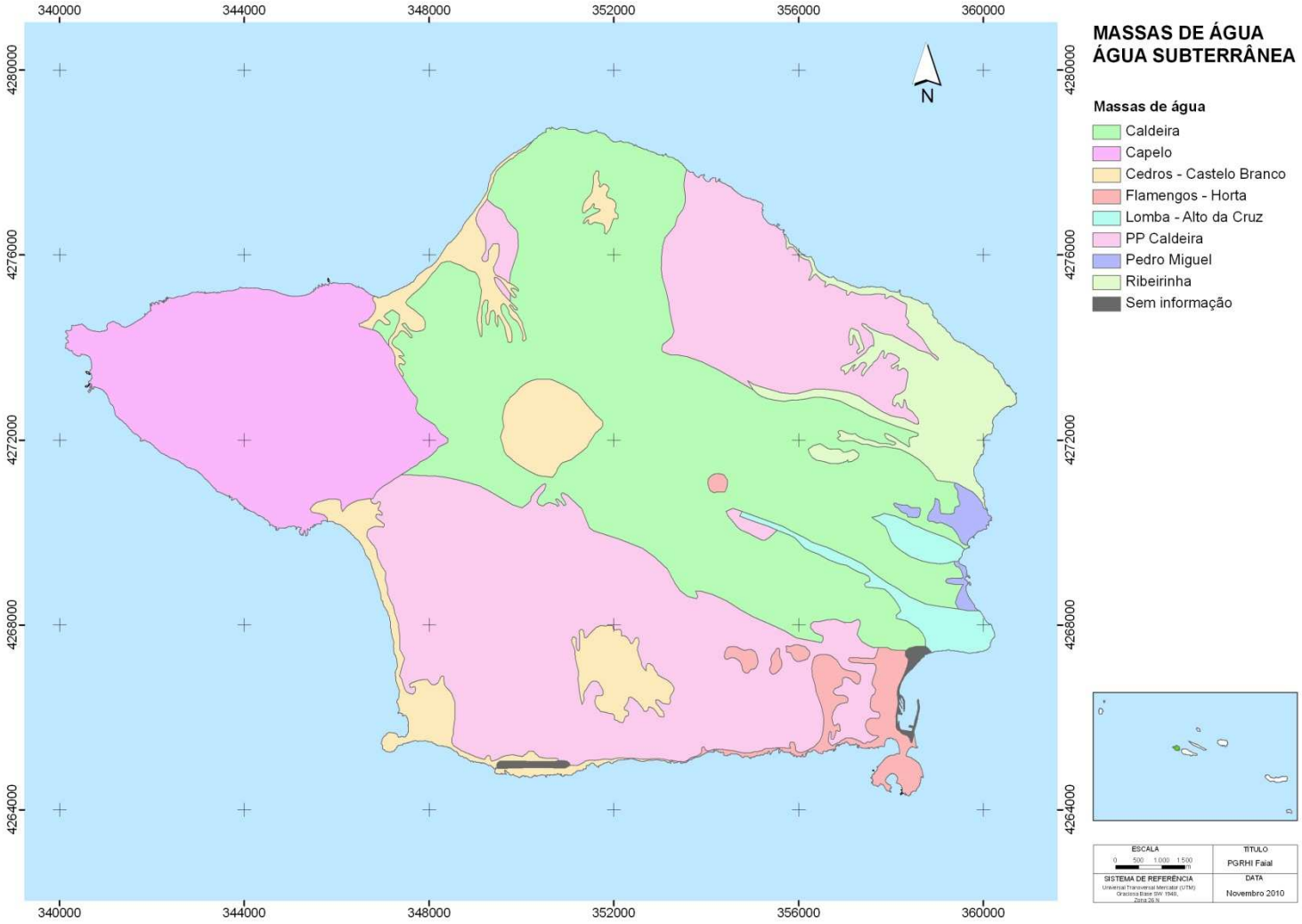


Figura 3.22 | Massas de água da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

3.5.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Os recursos hídricos subterrâneos na ilha do Faial são, no geral, elevados, totalizando 369,7 hm^3/ano (AHA-SRAM, 2011) totalizando 74,1 hm^3/ano. As massas de água subterrânea com recursos mais elevados são as de Pedra-Pomes da Caldeira e da Caldeira, a que correspondem respectivamente valores iguais a 23,2 hm^3/ano e a 22,9 hm^3/ano.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, (recarga), valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea do Faial são respectivamente iguais a: 9 hm^3/ano (Capelo), 13,8 hm^3/ano (Caldeira), 5,2 hm^3/ano (Cedros - Castelo Branco), 0,47 hm^3/ano (Flamengos - Horta), 0,43 hm^3/ano (Lomba - Alto da Cruz), 13,9 hm^3/ano (Pedra-Pomes da Caldeira), 0,07 hm^3/ano (Pedro Miguel) e 1,6 hm^3/ano (Ribeirinha).

3.5.4 | ÁREAS DE RECARGA

A cartografia das áreas preferenciais de recarga para a ilha do Faial assentou na metodologia descrita no caso da ilha de São Miguel.

Na Figura 3.23 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha do Faial, classificadas em função das categorias mencionadas para a ilha de São Miguel. A análise da figura permite evidenciar que na Ilha predominam as classes de recarga moderada a elevada, embora se observem regiões representativas de todas as classes. A classe de recarga elevada predomina no troço superior do actual vulcão central, assim como na extremidade W da ilha, em particular na região em que afloram os materiais emitidos no decurso da erupção histórica de 1672-1673. Por seu turno, a classe de recarga reduzida está particularmente bem representada na zona costeira, assim como no extremo E do Faial, o que é expectável face à metodologia aplicada e face às condições físicas daquela região.

Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que na massa Capelo a recarga distribui-se pelas classes reduzida a muito elevada, predominando a classe elevada, o que explica o facto de corresponder à mais elevada taxa de recarga na ilha (47,5%).

Na área dominada pela massa de água Cedros - Castelo Branco as classes de recarga compreendem todas as classes definidas. A taxa de recarga média nesta massa é igual a 36,6%, o que se explica por, apesar da área aflorante ser muito pequena, a classe de recarga predominante no interior da caldeira do vulcão central ser a elevada.

Nalgumas zonas de maior altitude nos flancos do vulcão central, dominadas pelas massas de água Caldeira e Pedra-Pomes da Caldeira, a classe de recarga dominante é a elevada. Contudo, a maior parte da superfície aflorante destas massas, corresponde às classes moderada a reduzida, o que é compatível com as taxas de recarga estimadas, respectivamente iguais a 18,1% e 27,5%.

Nas áreas de influência das restantes massas de água, as classes dominantes são a moderada a reduzida. Estes resultados enquadram-se na gama de valores de taxa de recarga estimados, que variam entre 12,4% (Pedro Miguel), 22,5% (Flamengos - Horta), 24,3% (Lomba - Alto da Cruz) e 28,6% (Ribeirinha).

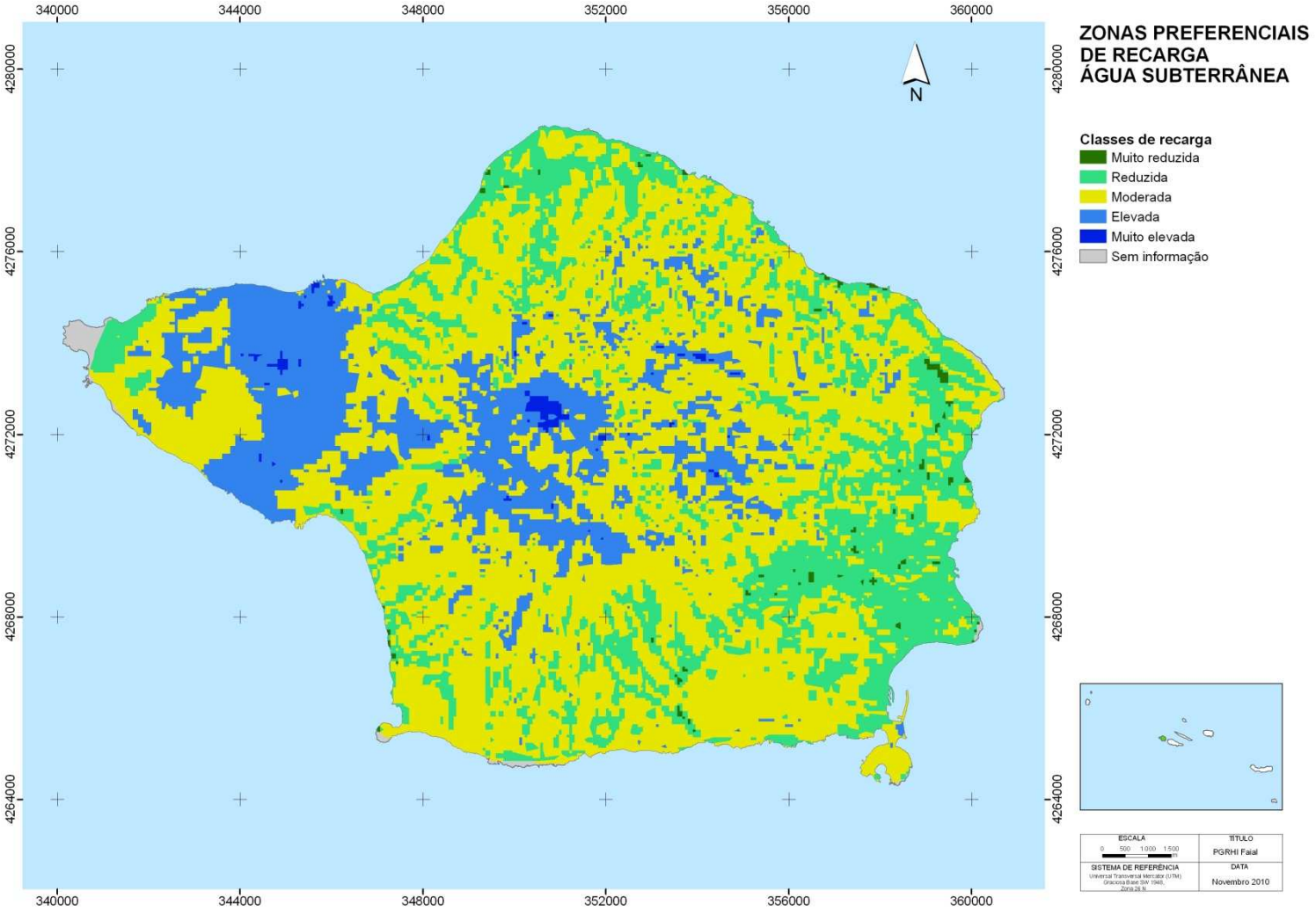


Figura 3.23 | Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

3.5.5 | HIDROGEOQUÍMICA

As águas subterrâneas na ilha do Faial são, predominantemente, dos tipos cloretada sódica a bicarbonatada sódica; as nascentes dos aquíferos de altitude tendem a enquadrar-se neste último grupo, enquanto as nascentes costeiras, bem como os furos de captação, correspondem essencialmente ao primeiro tipo (Figura 3.24). A condutividade das águas varia entre 77 e 10820 μS/cm, o que desde logo permite concluir que ocorrem águas com mineralizações baixas a elevadas, com um valor de mediana igual a 132,5 μS/cm. Correspondem maioritariamente a águas frias, com excepção da nascente do Varadouro e do furo AC4, e a alcalinidade varia entre 20 e 444 mg/L de $CaCO_3$. O valor da mediana do pH é igual a 7,16, e as águas podem ser consideradas como ligeiramente ácidas a alcalinas.

A dureza total varia entre 5,6 e 2712,9 mg/L de $CaCO_3$, o que traduz o facto de ocorrerem águas brandas a muito duras. O valor da mediana, igual a 35,1 mg/L de $CaCO_3$, enquadra-se na gama característica das águas brandas.

Em face do padrão gráfico do diagrama de Schoeller respectivo, verifica-se que a grande maioria das amostras são semelhantes do ponto de vista composicional, com excepção de alguns furos mais mineralizados por influência de sais marinhos (Figura 3.24).

A massa de água Caldeira é representada por águas cuja fácies predominante é bicarbonatada sódica, embora algumas amostras correspondam a tipos bicarbonatada cloretada sódica e bicarbonatada sódica cálcica. Correspondem a emergências com águas pouco mineralizadas, apresentando uma condutividade que varia entre 77 e 148 μS/cm. A única diferença que ressalta é um grupo de amostras com teores de sulfato numa ordem de magnitude superior às remanescentes e, na medida que as concentrações em causa são muito reduzidas, e pertencem a massas iguais (Coutinho, 2000), esta variação poderá dever-se a imprecisões laboratoriais. O anião predominante é o bicarbonato, que varia entre 24,4 e 84,18 mg/L, e o catião dominante é o sódio, cujo valor da mediana é igual a 16,2 mg/L.

A informação respeitante à massa de água Pedra Pomes da Caldeira está limitada a uma única amostra, de fácies bicarbonatada sódica, e que apresenta condutividade baixa (86 μS/cm). Trata-se de uma água fria em que o anião dominante é o bicarbonato, igual a 28,06 mg/L, e o catião mais importante é o sódio, que atinge 21,6 mg/L.

A massa de água Capelo apresenta fácies cloretada sódica a cloretada magnesiana. Nesta unidade, observa-se uma dissemelhança entre dois grupos de amostras, bem patente no diagrama de Schoeller, um constituído pela amostra do poço de maré do Varadouro, do

furo AC4 e da nascente da Fajã, em que a condutividade varia entre 3700 e 10820 μS/cm, o outro que agrega nascentes de altitude, corresponde a nascentes menos mineralizadas, cuja condutividade varia entre 121 e 197 μS/cm.

O primeiro dos grupos enunciados, apesar da indubitável componente de mistura com sais marinhos, apresenta indícios de contribuição vulcânica, traduzida quer pela temperatura da água no furo AC4 (38,3ºC), quer pelos teores elevados de bicarbonato, que variam entre 424,56 e 541,68 mg/L. Não obstante esta contribuição profunda, o cloreto é o anião dominante, com um valor de mediana igual a 593,45 mg/L. No segundo grupo a composição química é dominada pelo sódio, que varia entre 15,8 e 33,7 mg/L, e no que concerne aos aniões pelo cloreto e pelo bicarbonato, cujos teores se distribuem respectivamente entre 37,7 a 42,1 mg/L e 43,92 a 58,56 mg/L.

A massa de água Cedros - Castelo Branco apresenta águas dos tipos cloretada sódica a bicarbonatada cálcica. A primeira fácies é característica da nascente termal do Varadouro, (35,1 ºC) e aos furos JK3 e AC2, apresentando teores de cloreto superiores aos das restantes amostras, particularmente notório na nascente termal do Varadouro onde atinge o valor de 2016 mg/L. A condutividade das águas da massa mostra uma variação elevada, entre 161 e 6570 μS/cm. As águas das emergências pertencentes ao segundo grupo mostram condutividades significativamente mais baixas, entre 161 e 216 μS/cm, sendo a composição da água no que respeita aos aniões, dominada pelo bicarbonato, cujas concentrações variam entre 57,34 e 68,32 mg/L. O catião mais importante é o sódio, com valores entre 23,7 e 47,8 mg/L.

Na massa de água Flamengos - Horta ocorre uma acentuada diferencia entre algumas amostras, especialmente entre os furos que captam aquíferos superiores e os que captam aquíferos de base, em que a mineralização das águas tende a ser mais elevada. A fácies predominante é bicarbonatada sódica, embora ocorram amostras dos tipos bicarbonatada sódica magnesiana, cloretada sódica e cloretada magnesiana sódica. O anião dominante do sistema é o bicarbonato, cujos teores variam entre 40,26 e 192,76 mg/, ,enquanto o catião mais importante, o sódio, varia entre 17,1 e 204,1 mg/L. O magnésio nalguns casos pode assumir alguma relevância variando, para o sistema, entre 4 e 52,4 mg/L.

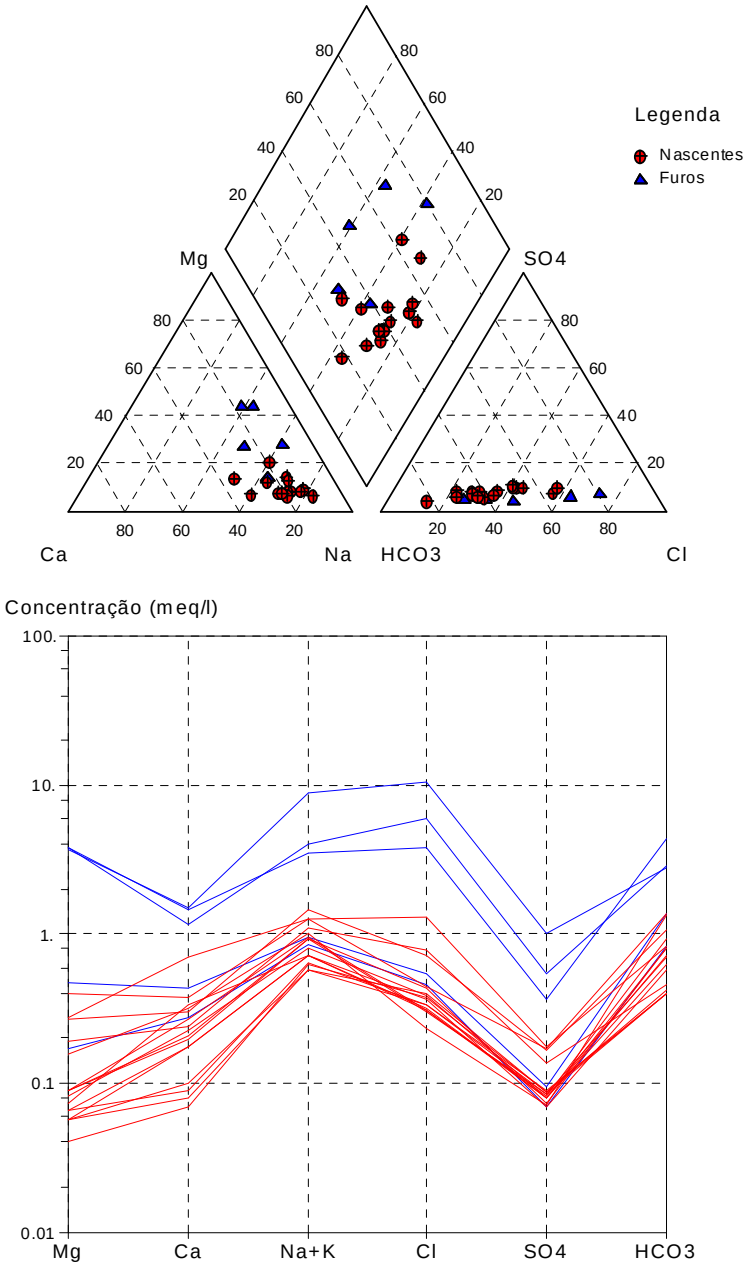


Figura 3.24 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos da ilha do Faial (Cruz, 2004).

3.5.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

No âmbito da elaboração do PGRH da ilha do Faial, a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em seis classes (Aller *et al*., 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha corresponde à classe de baixa moderada vulnerabilidade à poluição. Esta classe domina toda a área central e oriental da ilha do Faial, com excepção, essencialmente, de alguns

sectores na área costeira E (Figura 3.25). Por outro lado, na extremidade ocidental da ilha, predomina a classe de vulnerabilidade elevada.

Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pela massa Capelo predomina a classe de elevada vulnerabilidade. A classe de baixa a média vulnerabilidade corresponde à maioria da área aflorante das massas de água, Cedros - Castelo Branco, Caldeira, Pedra-Pomes da Caldeira e Pedro Miguel. Por seu turno, à classe de baixa vulnerabilidade corresponde a maior parte da área aflorante das massas de água Ribeirinha, Flamengos - Horta e Lomba - Alto da Cruz.

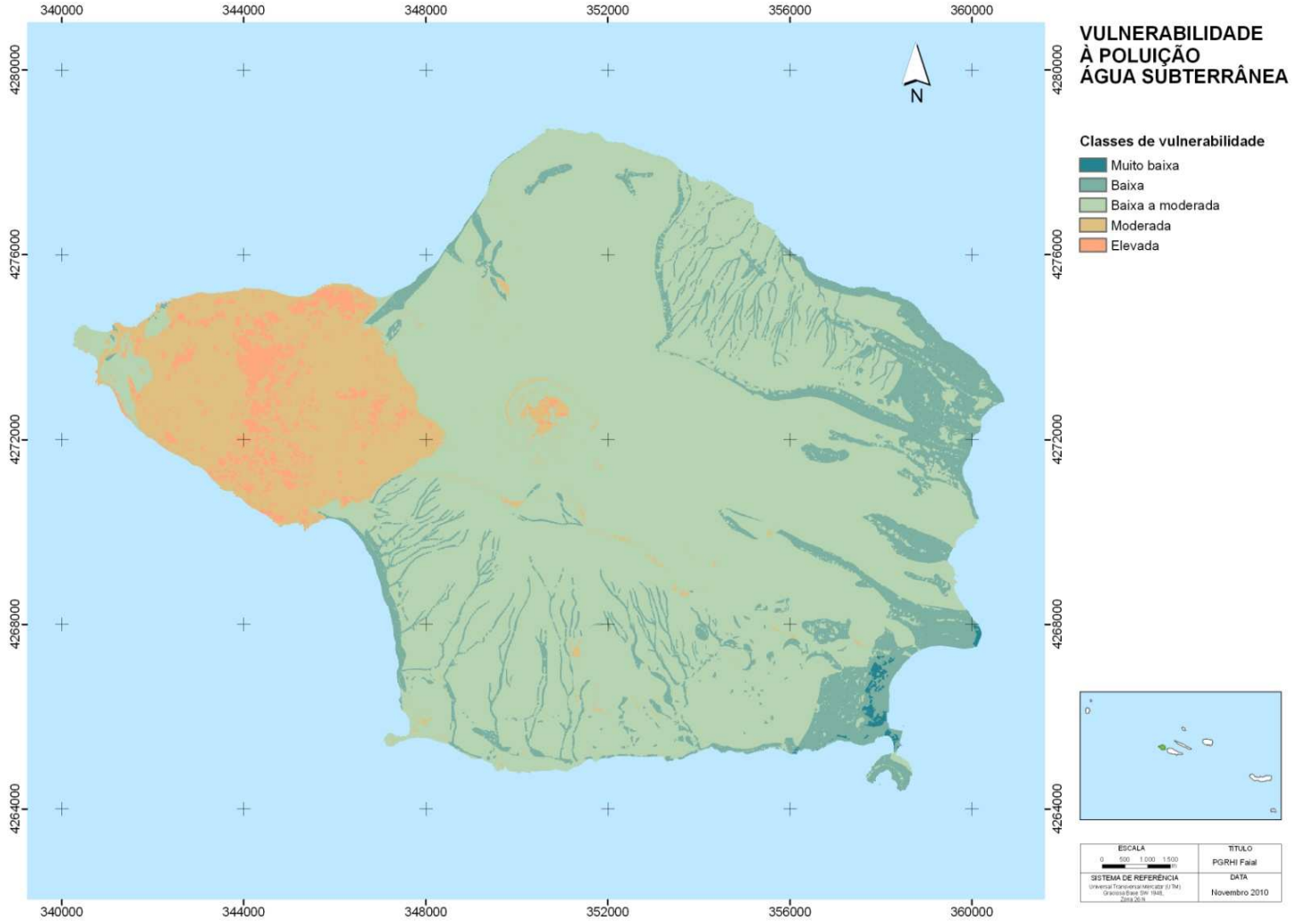


Figura 3.25 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha do Faial (AHA-SRAM, 2011).

3.6 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA DE SÃO JORGE

3.6.1| CARACTERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água assentou em quatro pilares fundamentais: o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha; o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água (PRA) (Cruz, 2001a); o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005); os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Coutinho *et al*., 2008). Optou-se por considerar este último pilar como o mais completo e pormenorizado, complementando-o com as outras referências supracitadas, uma vez que foi baseado em trabalhos de campo, que pressupuseram a visita a todos os pontos de água captados para uso humano e tiveram o apoio das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento. Relativamente aos pontos não captados, a única fonte utilizada correspondeu ao levantamento do PRA, na medida que os restantes estudos não os abrangem.

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 96 nascentes (0,39 nascentes/km^2) e 4 furos (0,02 furos/km^2), encontra-se representada na Figura 3.26.

A distribuição das 96 nascentes é a seguinte: 38, na massa de água Oriental, 36 na massa de água Central e 22 na massa de água Ocidental. Quanto à distribuição dos furos de captação, encontram-se três na massa de água Central e apenas um furo na massa Ocidental.

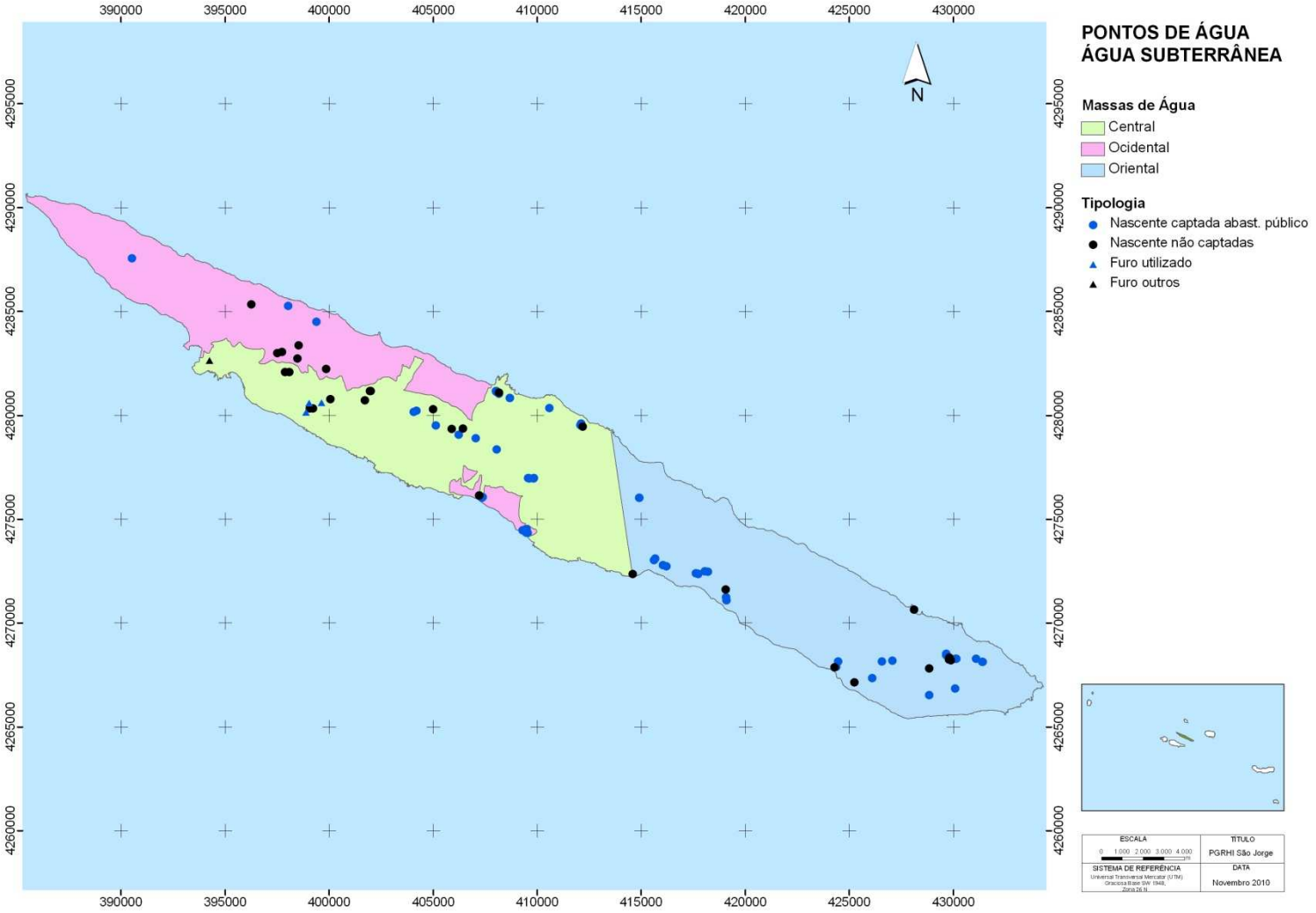


Figura 3.26 | Distribuição de pontos de água na ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

O caudal específico na ilha de São Jorge varia entre 3,3 e 230 L/sm (mediana = 24,75 L/sm), constatando-se que ambos os valores respeitam a captações instaladas na massa de água Central, o que denota a grande variabilidade observada nesta unidade (Tabela 3.5). Por outro lado, apenas se possui um valor de caudal específico relativo à massa de água Ocidental, igual a 22 L/sm, inferior à média na massa Central (86,9 L/sm).

Da leitura do Tabela 3.5, pode verificar-se que a transmissividade varia entre $2{,}68x10^{-3}$ e $2{,}81x10^{-1}$ m^2/s (mediana = $4{,}23x10^{-2}$ m^2/s), e apresenta um comportamento similar ao caudal específico. O valor médio respeitante aos valores de condutividade hidráulica na massa de água Central ($3{,}16x10^{-2}$ m^2/s) é da mesma ordem de grandeza do valor obtido na massa Ocidental.

Tabela 3.5 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/sm)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Central	AC3	3,30	$4{,}03x10^{-03}$	1,00	$4{,}03x10^{-03}$
	AC2 ou F1	230,00	$2{,}81x10^{-01}$	3,10	$9{,}05x10^{-02}$
	SB1 ou F2	27,50	$2{,}68x10^{-03}$	19,70	$1{,}36x10^{-04}$
Ocidental	AC1	22,00	$8{,}05x10^{-02}$	2,00	$4{,}03x10^{-02}$

3.6.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha de São Jorge foram delimitadas três massas de água (Figura 3.27). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

A descrição das características gerais dos estratos da área de drenagem das massas de água subterrâneas delimitadas na ilha de São Jorge foi efectuada com base nos trabalhos de Forjaz & Fernandes (1976), Fernandes (1977), Madeira (1998), Pereira (2000), Cruz (2001a & 2004) e França *et al.* (2003).

As massas de água delimitadas são as seguintes:

- Massa de água Ocidental

Com uma área aflorante da ordem de 62,2 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 25,3% da superfície de São Jorge, correspondendo ao sector ocidental da ilha, e confrontando a E com a massa Central. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se, predominantemente no concelho de Velas

de São Jorge, embora um pequeno sector, aflorante na costa S da ilha, pertença ao concelho de Calheta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basal, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida. Admite-se a existência de aquíferos porosos de altitude se os cones secundários apresentarem volumes hidrogeologicamente interessantes.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo dos Rosais, que domina o sector ocidental da ilha de São Jorge, e é formado por escoadas lávicas de natureza basáltica e havaitica, porfíriticas, predominantemente do tipo *aa*, muitas vezes dando lugar a níveis de *clincker* possantes. Associados a cones estrombolianos podem observar-se depósitos piroclásticos de natureza basáltica *s.l.*, que podem originar coberturas relevantes.

- Massa de água Central

Com uma área aflorante da ordem de 87,8 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 35,8% da superfície de São Jorge, correspondendo ao sector central da ilha, confrontando a W com a massa Ocidental e a E com massa Oriental. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Velas de São Jorge e Calheta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basal, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida. Admite-se a existência de aquíferos porosos de altitude, se os cones secundários apresentarem volumes hidrogeologicamente interessantes.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo das Manadas, que se instalou em resultado de vulcanismo fissural, segundo fracturas de orientação predominante WNW-ESE e NNW-SSE. As erupções fissurais e estrombolianas originaram a emissão de escoadas lávicas basálticas *s.l.*, assim como a formação de depósitos piroclásticos de fraca dispersão relativamente ao centro emissor, embora na sequencia característica desta unidade ocorram evidências de episódios vulcânicos de maior explosividade, associados à interacção entre magma e água. As escoadas lávicas são de natureza basáltica e havaitica, frequentemente porfíriticas e predominantemente do tipo *aa*, dando lugar, muitas vezes, a níveis de *clincker* possantes.

O Complexo das Manadas, o mais recente na ilha, engloba ainda os depósitos resultantes das erupções históricas de 1580 e 1808.

- Massa de água Oriental

Com uma área aflorante da ordem de 95,6 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 38,9% da superfície de São Jorge, correspondendo ao sector oriental da ilha e confrontando a W com a massa Central. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Calheta.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basal, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida. Admite-se a existência de aquíferos porosos de altitude, quando os cones secundários apresentam volumes hidrogeologicamente interessantes.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo do Topo, que domina o sector oriental da ilha de São Jorge, formado em resultado de actividade vulcânica predominantemente fissural. Este Complexo é formado por escoadas lávicas de natureza basáltica, havaitica e mugearítica, freqentemente porfíriticas, predominantemente do tipo *aa* e com espessuras que raramente são superiores a 2 m. Associados a cones estrombolianos podem observar-se depósitos piroclásticos de natureza basáltica *s.l.*.

.

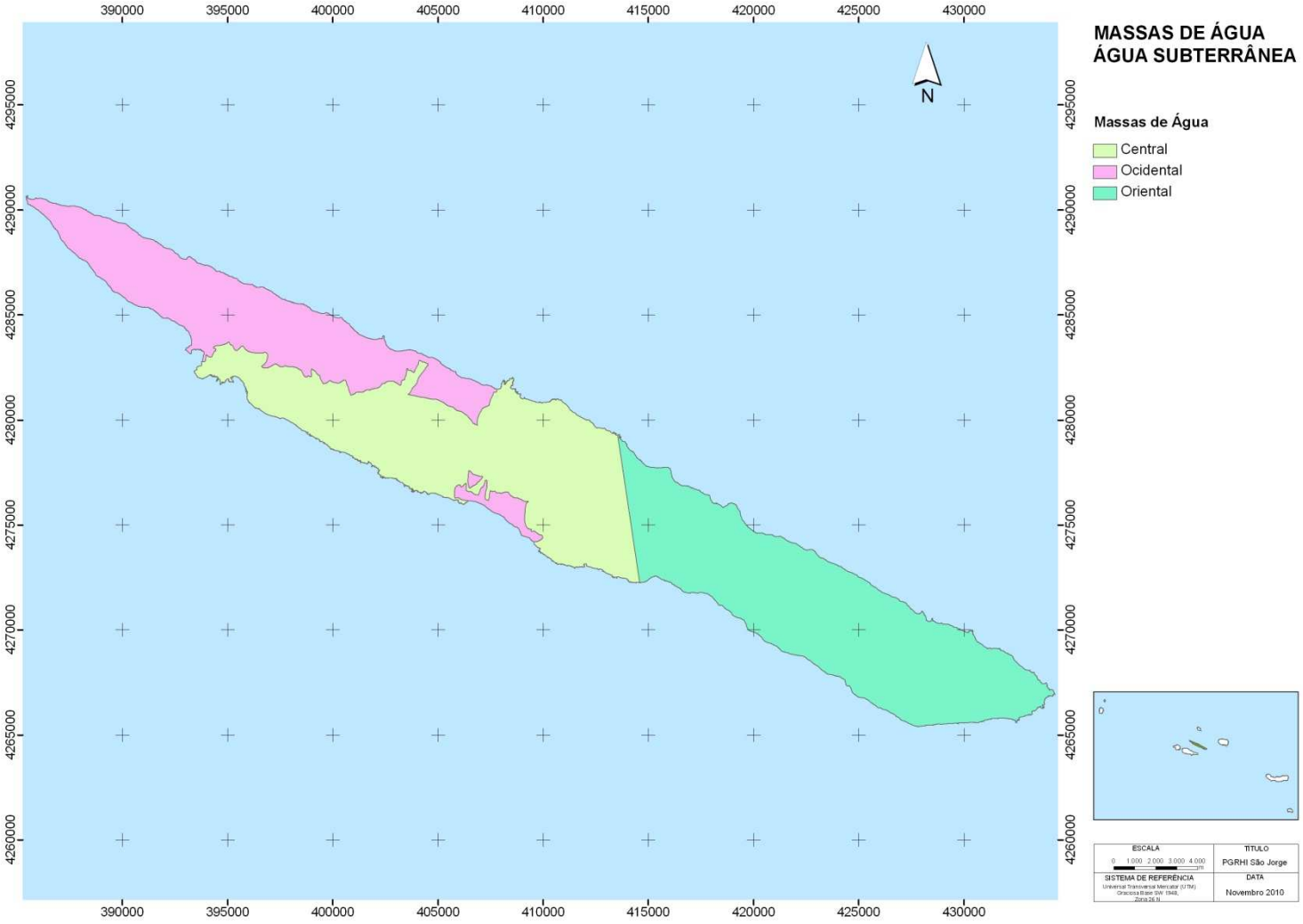


Figura 3.27 | Massas de água da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

3.6.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Os recursos hídricos subterrâneos na ilha de São Jorge são, no geral, elevados, totalizando 219 hm^3/ano. A massa de água Central, a que corresponde um valor de 99,2 hm^3/ano, possui os recursos hídricos mais elevados da ilha; nas massas Ocidental e Oriental aquele valor desce para totais da ordem de 74,2 hm^3/ano e 45,6 hm^3/ano, respectivamente.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea de São Jorge são respectivamente iguais a 44,5 hm^3/ano (Ocidental), 59,5 hm^3/ano (Central) e 27,4 hm^3/ano (Oriental).

3.6.4 | ÁREAS DE RECARGA

Na figura 3.28 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha de São Jorge. A análise da figura permite evidenciar que na ilha predominam as classes de recarga elevada a moderada, embora se observem regiões representativas de todas as classes.

As classes de recarga elevada e muito elevada predominam nas zonas de maior altitude, em especial na região central da ilha, ao longo de toda a zona dorsal, que frequentemente corresponde aos alinhamentos de cones vulcânicos. A classe de recarga reduzida está particularmente bem representada na zona costeira da ilha, em particular nos sectores, central e oriental de São Jorge.

Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que na massa Central as classes de recarga dominantes são a elevada, moderada e reduzida, o que explica o facto de corresponder a uma taxa de recarga igual a 45%. Contudo, é na massa de água Ocidental que se observa a taxa de recarga mais elevada (54%), o que comparativamente à massa Central, decorrerá de uma menor importância da classe reduzida, não obstante a classe de recarga elevada também estar menos representada.

Na área dominada pela massa de água Oriental, a classe de recarga predominante corresponde à classe moderada. Contudo, observam-se algumas zonas onde a recarga nesta massa é elevada a reduzida, o que é compatível com o valor estimado da taxa de recarga média, igual a 19%.

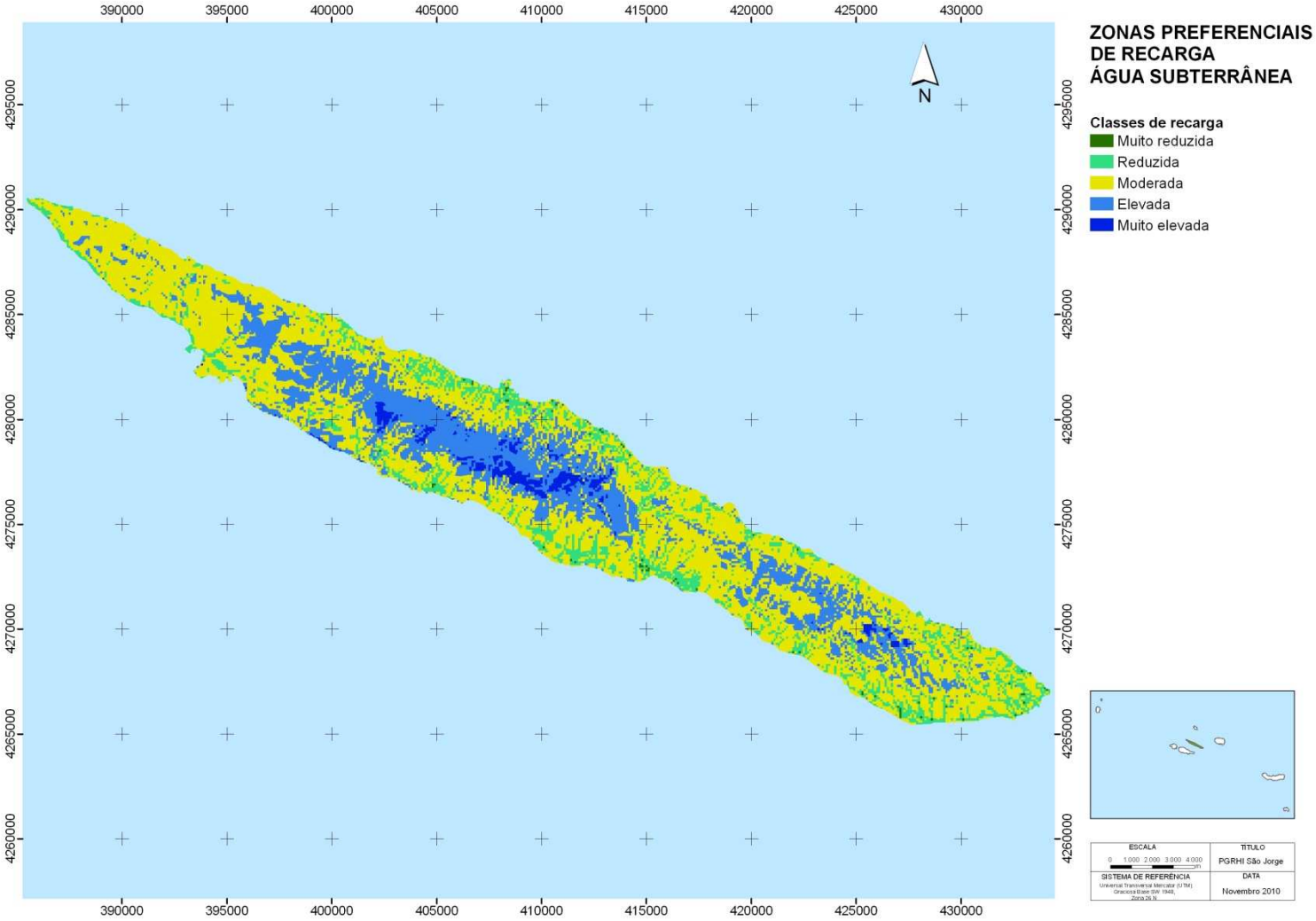


Figura 3.28 | Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

3.6.5 | HIDROGEOQUÍMICA

A água subterrânea na ilha de São Jorge é predominantemente do tipo cloretada sódica, embora ocorram amostras com tendência bicarbonatada, sódica magnesiana e sódica cálcica (Figura 3.29). Correspondem a águas frias, alcalinas, em que o valor mediano de pH é igual a 7,45, o que é típico de regiões de litologia basáltica *s.l.* A condutividade apresenta uma grande variação, entre 272 μS/cm e 5900 μS/cm, o que indicia a existência de águas muito mineralizadas. Do ponto de vista da dureza total pode considerar-se que as amostras correspondem a águas brandas a muito duras, apresentando valores entre 36,2 a 828,2 mg/L de $CaCO_3$. O valor da mediana, igual a 306,1 mg/L de $CaCO_3$, integra-se na gama característica das águas muito duras.

O diagrama de Schoeller evidencia que as águas das nascentes e furos são do ponto de vista da composição química dissemelhantes, o que resulta da maior mineralização da água captada nos últimos (Figura 3.29).

A massa de água Oriental apresenta uma fácies dominante cloretada sódica, correspondendo a emergências com águas pouco mineralizadas, cuja condutividade varia entre 134 a 272 μS/cm. Os iões predominantes são o sódio e o cloreto, que variam respectivamente entre 16 a 32,8 mg/L e 21,3 a 42,6 mg/L.

Contrariamente à massa de água Oriental, as massas de água Central e Ocidental apresentam uma gama alargada de valores de condutividades, respectivamente entre 109 a 4800 μS/cm, mediana igual a 550,5 μS/cm e 164 a 5900 μS/cm, mediana igual a 188 μS/cm. Esta variação resulta do facto de nestes sistemas estarem incluídos furos de captação, onde a influência de sais marinhos é notória, comprovada pelos respectivos valores da mediana da condutividade, acima referidos. A diferença entre as amostras correspondentes a nascentes e as amostras de furos nestas unidades pode ser facilmente aquilatada a partir dos respectivos diagramas de Schoeller, em que as águas das captações tubulares se projectam bem acima das emergências.

Na massa de água Central os iões predominantes são o sódio e o cloreto, que respectivamente variam entre 17,3 a 710,2 mg/L e 17,8 a 1310 mg/L. Nesta unidade, cuja fácies predominante é cloretada sódica, o bicarbonato pode apresentar igualmente concentrações elevadas, que podem ser significativas como se depreende do diagrama de Schoeller, variando entre 26 e 127 mg/L. Algumas amostras apresentam, ainda, fácies do tipo cloretada sódica magnesiana, cloretada sódica cálcica, bicarbonatada cloretada sódica, cloretada bicarbonatada sódica e bicarbonatada sódica.

Na massa de água Ocidental as espécies iónicas mais importantes são o sódio e o cloreto, que variam, respectivamente, entre 15,4 a 511,1 mg/L e 18 a 1065 mg/L. Nesta unidade a fácies predominante é cloretada sódica, embora se observem amostras correspondentes aos tipos cloretada sódica magnesiana, bicarbonatada cloretada sódica magnesiana e cloretada sódica cálcica.

De realçar que na ilha de São Jorge ocorrem ainda águas frias com teores de CO_2 relativamente elevados, comparativamente com o padrão regional, como por exemplo as nascentes da Água Azeda (Fajã do Nortezinho), da Água Azeda (Fajã dos Vimes) e a emergência da Ponta da Forcada. A nascente da Água Azeda (Fajã dos Vimes) pode ser considerada como representativa destas águas, tendo sido registados nessa emergência: um valor de pH igual a 5,35, uma temperatura de 15,1ºC, um teor de bicarbonato de 64,7 mg/L e 218 mg/L de CO_2 dissolvido. Trata-se de uma água pouco mineralizada, o que é atestado pela condutividade igual a 197,9 μS/cm.

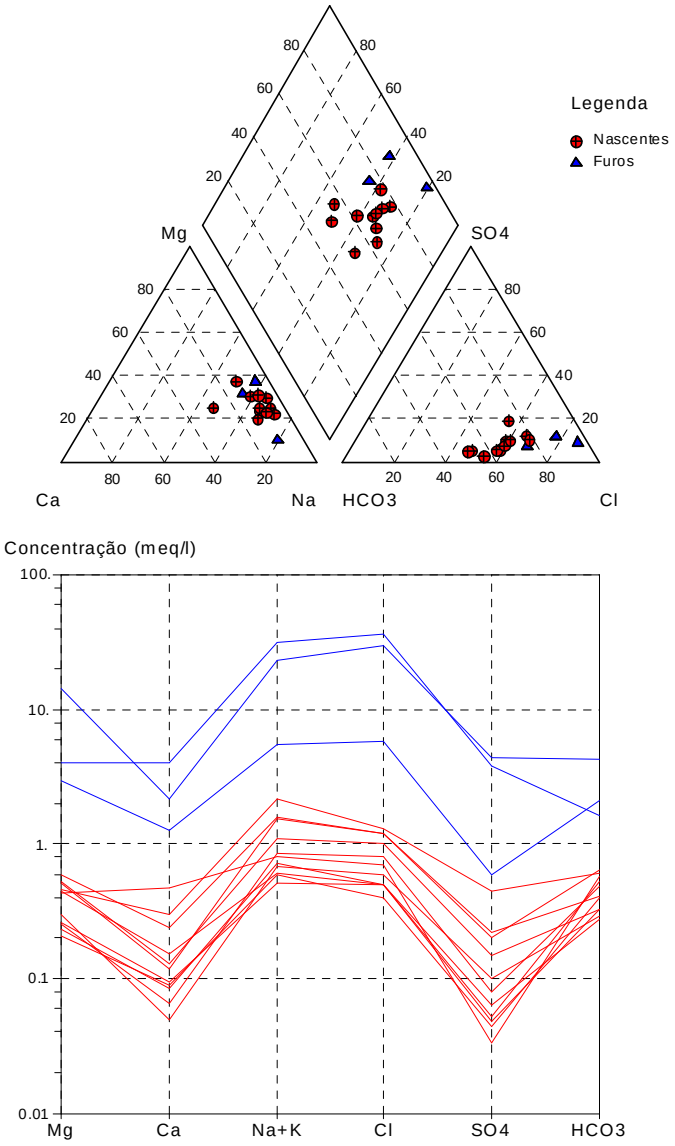


Figura 3.29 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha de São Jorge (Cruz, 2004).

3.6.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Na ilha de São Jorge a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em seis classes (Aller *et al.,* 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha corresponde às classes de elevada e muito elevada vulnerabilidade à poluição. Estas classes distribuem-se por toda a ilha de São Jorge, sem um padrão bem definido, embora a classe de vulnerabilidade muito elevada esteja mais representada na metade oriental da ilha (Figura 3.30). Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea

constata-se que nas respectivas áreas aflorantes ocorrem sectores de elevada e muito elevada vulnerabilidade à poluição.

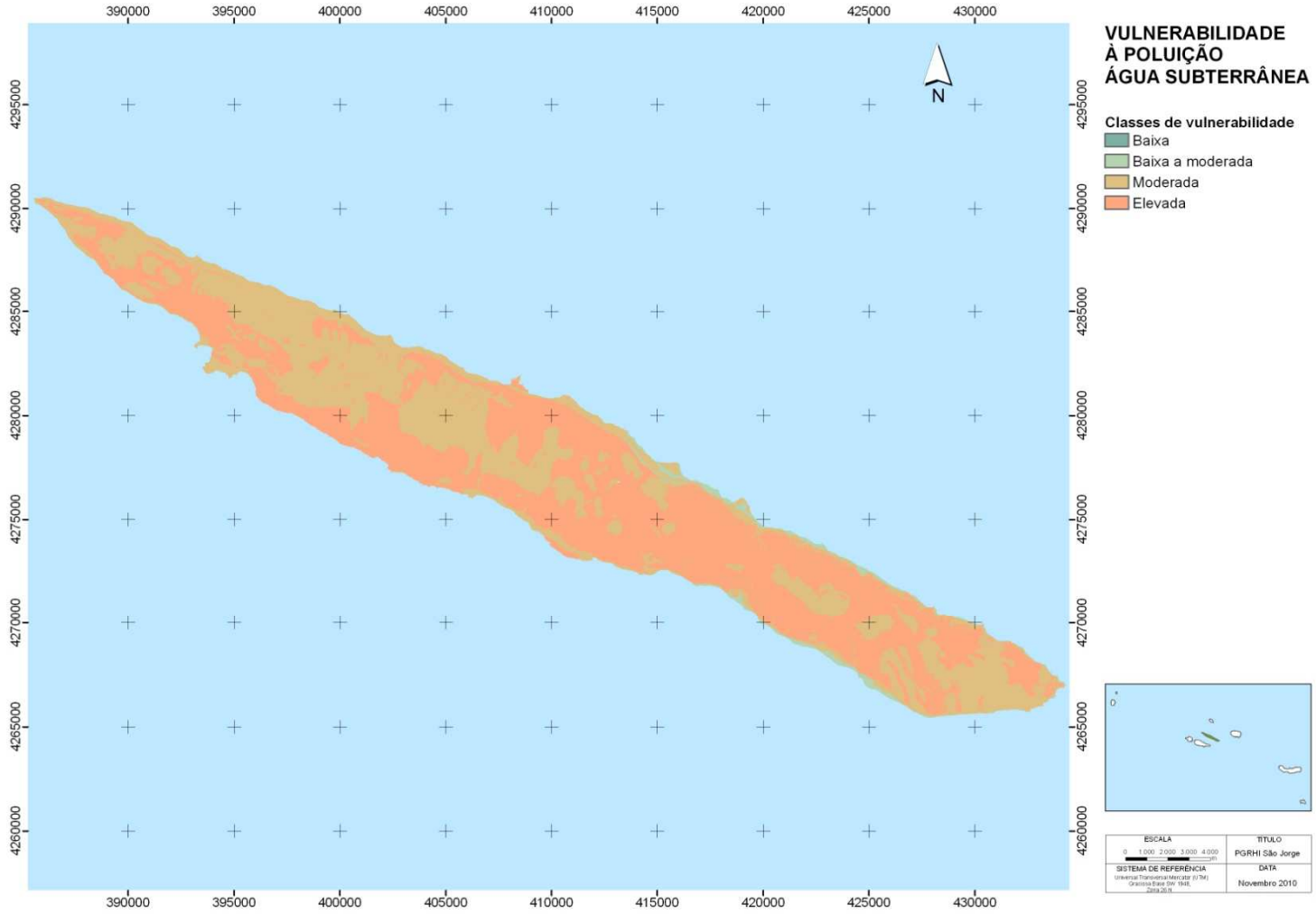


Figura 3.30 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha de São Jorge (AHA-SRAM, 2011).

3.7 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA DO PICO

3.7.1 | CARATERIZAÇÃO HIDRODINÂMICA

O inventário de pontos de água assentou em quatro pilares fundamentais: o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha; o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água, (PRA), (Cruz, 2001a); o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Coutinho *et al*., 2008). Este último pilar foi considerado o mais completo e pormenorizado, uma vez que foi baseado em trabalhos de campo que pressupuseram a visita a todos os pontos de água captados para uso humano, realizados com o apoio das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento, tendo sido complementado com as outras fontes supracitadas. Relativamente aos pontos não captados, a única fonte utilizada correspondeu ao levantamento do PRA, na medida que os restantes estudos não os abrangem.

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam nove nascentes (0,02 nascentes/km^2) e 23 furos (0,05 furos/km^2), encontra-se representada na figura 3.31. Relativamente à distribuição das nascentes, ocorrem seis na massa de água Piedade, duas na massa São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima e apenas uma na massa Montanha. No que concerne à distribuição dos furos de captação, encontram-se 14 na massa de água Montanha, quatro na massa Piedade, três na massa Madalena - São Roque do Pico; nas massas Arrife e São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima foram inventariados apenas um furo em cada uma.

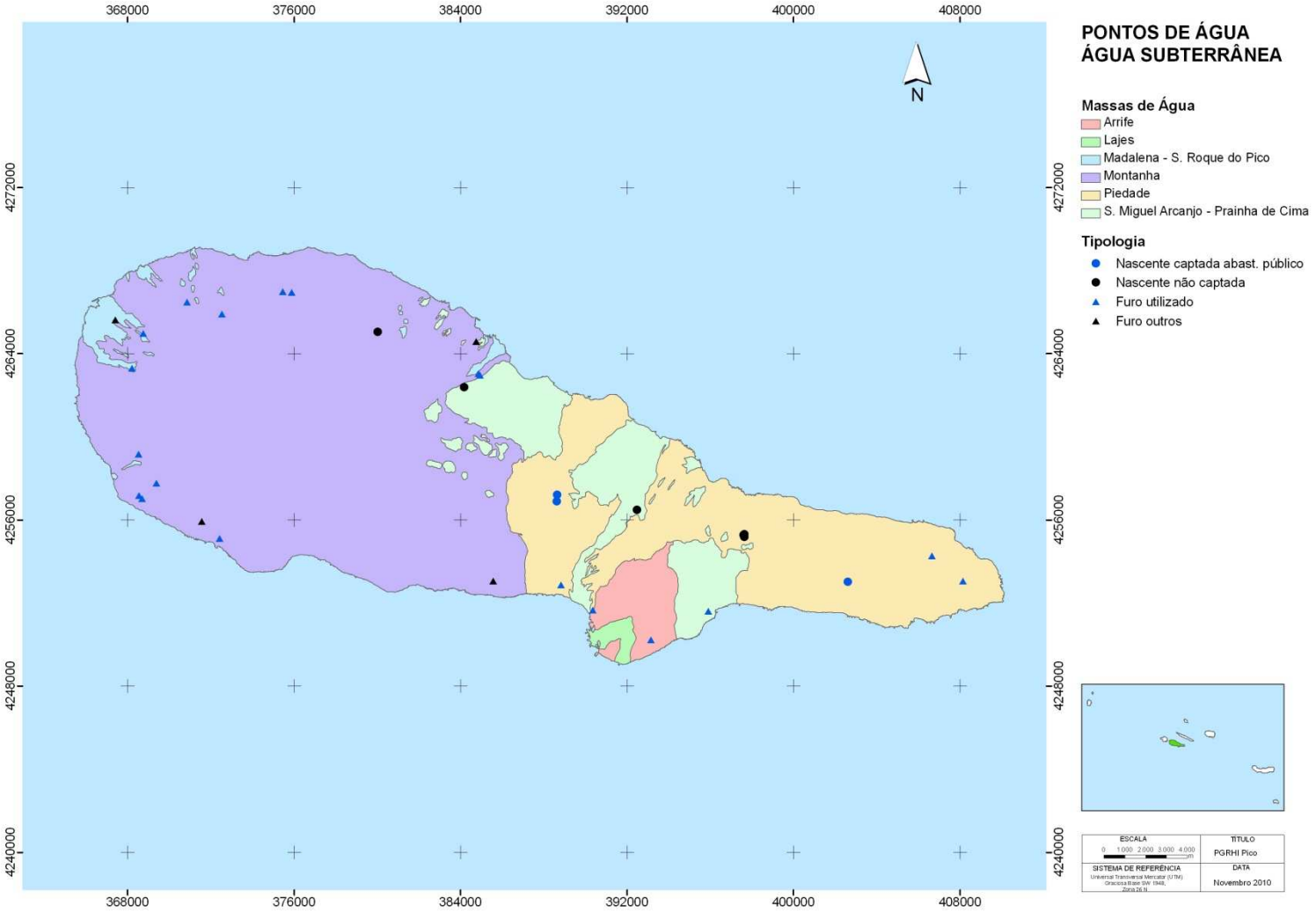


Figura 3.31 | Distribuição de pontos de água na ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Os parâmetros hidráulicos determinados na ilha do Pico foram o caudal específico (L/sm), a transmissividade (m^2/s) e a condutividade hidráulica (m/s).

O caudal específico na ilha do Pico varia entre 6,25 e 250 L/sm (mediana = 61,2 L/sm), constatando-se que o primeiro foi observado na massa de água Madalena - São Roque do Pico, que é aquela que apresenta os valores mais baixos (Tabela 3.6). Os valores de caudal específico relativos às restantes massas de água são mais elevados, registando-se alguma heterogeneidade, no caso das massas Montanha e Piedade, para as quais se possuem várias observações.

Da leitura do Tabela 3.6, pode verificar-se que a transmissividade varia entre $9{,}44x10^{-3}$ e $3{,}05x10^{-1}$ m^2/s, (mediana = $1{,}11x10^{-1}$ m^2/s), e que apresenta um comportamento similar ao caudal específico. As estimativas de condutividade hidráulica apresentam valor médio mais elevado na massa de água Piedade ($1{,}68x10^{-2}$ m/s), superior aos observados nas massas Montanha e Madalena - São Roque do Pico, ambos na ordem de grandeza de 10^{-3} m/s, sendo mais elevado no primeiro caso ($8{,}43x10^{-3}$ vs. $2{,}01x10^{-3}$ m/s). O único valor observado na massa São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima aproxima-se do valor médio mais elevado.

Quadro 3.6 | Valores de parâmetros hidrodinâmicos estimados nas massas de água subterrânea da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

Massa de Água	Refª PGRHi	Caudal Específico (L/sm)	T (m^2/s)	Espessura captada (m)	K (m/s)
Madalena - S. Roque do Pico	PIC.55	9,09	$1{,}11x10^{-02}$	12,80	$8{,}66x10^{-04}$
	PIC.56	6,25	$9{,}44x10^{-03}$	3,00	$3{,}15x10^{-03}$
Montanha	PIC.47	250,00	$3{,}05x10^{-01}$	6,00	$5{,}08x10^{-02}$
	PIC.52	125,00	$1{,}53x10^{-01}$	n.d.	n.d.
	PIC.53	24,12	$2{,}94x10^{-02}$	12,00	$2{,}45x10^{-03}$
	PIC.54	110,00	$1{,}34x10^{-01}$	11,30	$1{,}19x10^{-02}$
	PIC.58	61,20	$7{,}47x10^{-02}$	5,00	$1{,}49x10^{-02}$
	PIC.62	30,40	$3{,}71x10^{-02}$	8,28	$4{,}48x10^{-03}$
	PIC.64	104,00	$1{,}27x10^{-01}$	n.d.	n.d.
Piedade	PIC.46	55,60	$6{,}78x10^{-02}$	13,40	$5{,}06x10^{-03}$
	PIC.48	91,00	$1{,}11x10^{-01}$	4,48	$2{,}48x10^{-02}$
	PIC.50	169,00	$2{,}06x10^{-01}$	10,00	$2{,}06x10^{-02}$
São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima	PIC.49	24,57	$2{,}10x10^{-01}$	7,00	$3{,}00x10^{-02}$

3.7.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha do Pico foram delimitadas seis massas de água (Figura 3.32). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

Por sua vez a enumeração das características gerais dos estratos da área das massas de água subterrâneas, delimitadas para ilha do Pico, foram efectuadas com base nos trabalhos de: Zbyszewski *et al.* (1962, 1963a & 1963b), Cruz (1997, 2001a & 2004), Madeira (1998), Nunes (1999), Nunes *et al*. (1999a & 1999b) e França *et al*. (2003).

As massas de água delimitadas e caracterizadas são as seguintes:

- Massa de água Madalena - São Roque do Pico

Com uma área aflorante da ordem de 9,9 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 2,2% da superfície do Pico, correspondendo a pequenos sectores localizados na extremidade ocidental e na costa N da ilha, e confrontando com a massa Montanha. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Madalena e São Roque do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais, predominantemente fissurados. Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico da Montanha, em particular a formações da Unidade Inferior.

- Massa de água Montanha

Com uma área aflorante da ordem de 262,7 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 58,4% da superfície do Pico, correspondendo a uma zona muito extensa, que domina todo o sector ocidental da ilha, e confrontando a E com as massas Piedade e São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Madalena, São Roque do Pico e Lajes do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico da Montanha, em particular a formações da Unidade Intermédia e Superior.

- Massa de água São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima

Com uma área aflorante da ordem de 49,6 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 11% da superfície do Pico, correspondendo a três sectores, localizados na metade oriental da ilha, quer na costa S, quer na costa N; confronta com as massas Montanha, Piedade e Arrife. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de São Roque do Pico e Lajes do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema, no geral, de permeabilidade baixa, com aquíferos de altitude e basais, porosos ou fissurados, mas que localmente pode apresentar aquíferos de interesse local, nomeadamente aquíferos porosos, livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico São Roque - Piedade, em particular a formações da Unidade Inferior.

- Massa de água Piedade

Com uma área aflorante da ordem de 109,9 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 22,2% da superfície do Pico, e domina todo o sector oriental da ilha. Confronta a W com as massas Montanha e São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima e a S com a massa Arrife. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de São Roque do Pico e Lajes do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais, predominantemente fissurados. Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico São Roque - Piedade, em particular a formações das Unidades Intermédia (Subunidades Inferior, Intermédia e Superior) e Superior (Subunidades Inferior e Superior).

- Massa de água Arrife

Com uma área aflorante da ordem de 14,5 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 3,2% da superfície do Pico, correspondendo a um sector localizado na costa S, numa posição meridiana, e confronta a S com a massa Lajes, a N com a massa Piedade e a NE com a massa São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima. Em

termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Lajes do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude e basais, predominantemente fissurados, admitindo-se a existência de aquíferos de altitude livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico Topo - Lajes, em particular a formações das Unidades Inferior e Intermédia.

- Massa de água Lajes

Com uma área aflorante da ordem de 2,8 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 0,6% da superfície do Pico, correspondendo a um sector localizado na costa S que confronta a N com a massa Arrife. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se no concelho de Lajes do Pico.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos basais, predominantemente fissurados. Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Vulcânico Topo - Lajes, em particular a formações da Unidade Superior.

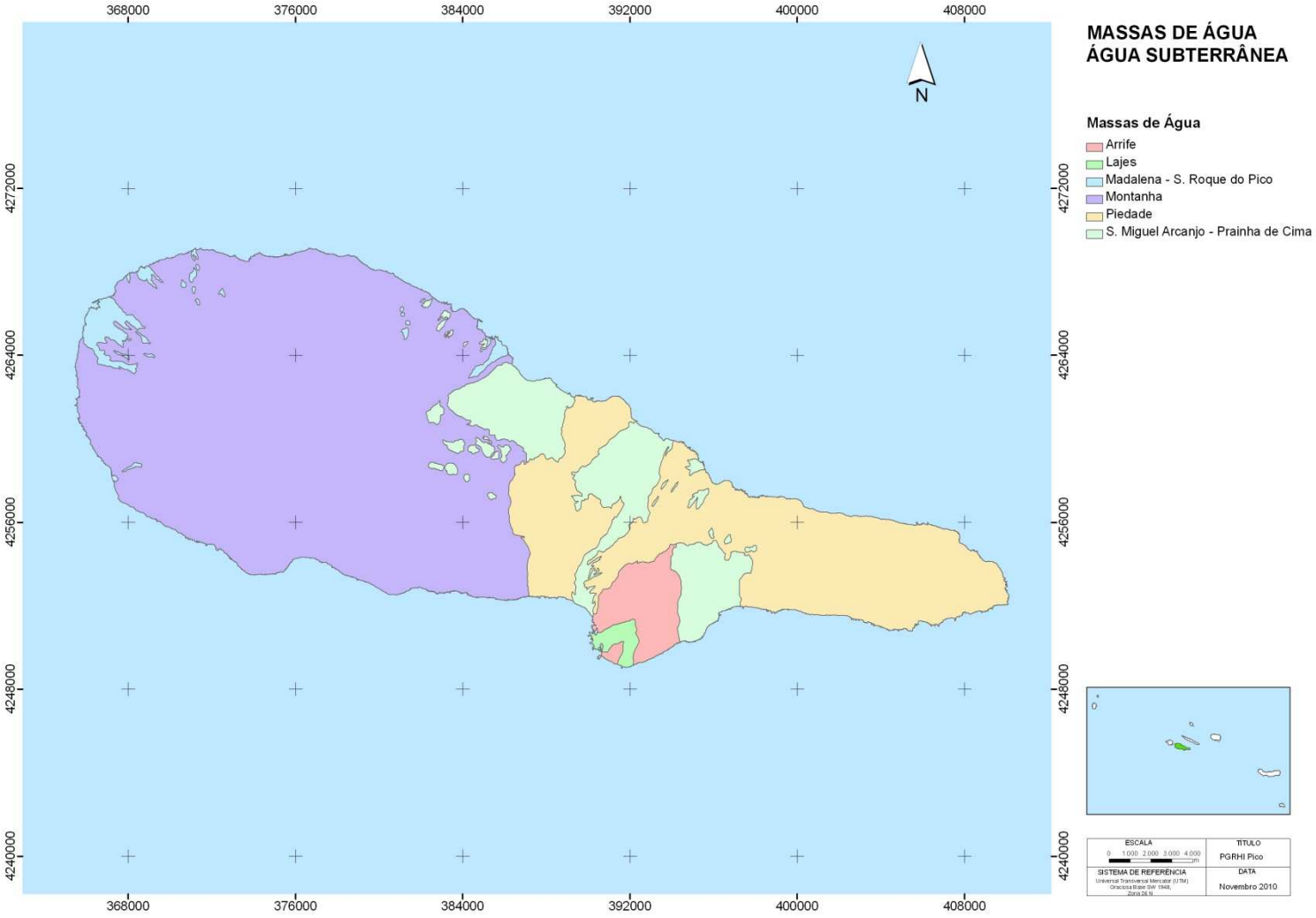


Figura 3.32 | Massas de água da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

3.7.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Os recursos hídricos subterrâneos na ilha do Pico são, no geral, elevados, totalizando 582 hm^3/ano. A massa de água com recursos mais elevados é a designada por Montanha, a que corresponde um valor de 418 hm^3/ano.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea do Pico são respectivamente iguais a: 250,9 hm^3/ano (Montanha), 0,41 hm^3/ano (Lajes), 5 hm^3/ano (Arrife), 1,9 hm^3/ano (Madalena - São Roque do Pico), 75 hm^3/ano (Piedade) e 16 hm^3/ano (São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima).

3.7.4 | ÁREAS DE RECARGA

A cartografia das áreas preferenciais de recarga para a ilha do Pico assentou na metodologia descrita no caso da ilha de São Miguel.

Na figura 3.33 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha do Pico, classificadas em função das categorias mencionadas para a ilha de São Miguel. A análise da figura permite evidenciar que na ilha predominam as classes de recarga elevada a moderada, embora se observem regiões representativas de todas as classes.

As classes de recarga elevada e muito elevada predominam na metade ocidental da ilha, na região dominada pela Montanha do Pico, quer em função das regiões de maior altitude, onde a precipitação é mais elevada, quer das áreas onde afloram escoadas lávicas mais recentes, como por exemplo nas regiões onde afloram os materiais emitidos nas erupções históricas. Na metade oriental da ilha, na região dominada pela Planalto da Achada, observam-se algumas zonas onde a recarga também é elevada, assim como na região da extremidade E onde afloram escoadas lávicas recentes.

A classe de recarga reduzida está particularmente bem representada na zona costeira a S da ilha, em particular entre a Vila das Lajes e a extremidade E do Pico.

Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que na massa Montanha a recarga distribui-se pelas classes reduzida a muito elevada, predominando a classe elevada, em especial no troço superior do aparelho vulcânico da

Montanha, o que explica o facto de corresponder à mais elevada taxa de recarga na ilha (62,1%).

Na área dominada pela massa de água Piedade a classe de recarga predominante corresponde à classe moderada. Contudo, observam-se algumas zonas onde a recarga nesta massa é elevada a muito elevada, o que permite explicar o valor da taxa de recarga média, igual a 36,6%.

Nas áreas de influência das restantes massas de água, as classes de recarga dominantes são a moderada a reduzida. Estes resultados enquadram-se na gama de valores de taxa de recarga estimados, que variam entre 18,5% (São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima), 21,6% (Lajes), 26,7% (Arrife) e 29,6% (Madalena - São Roque do Pico).

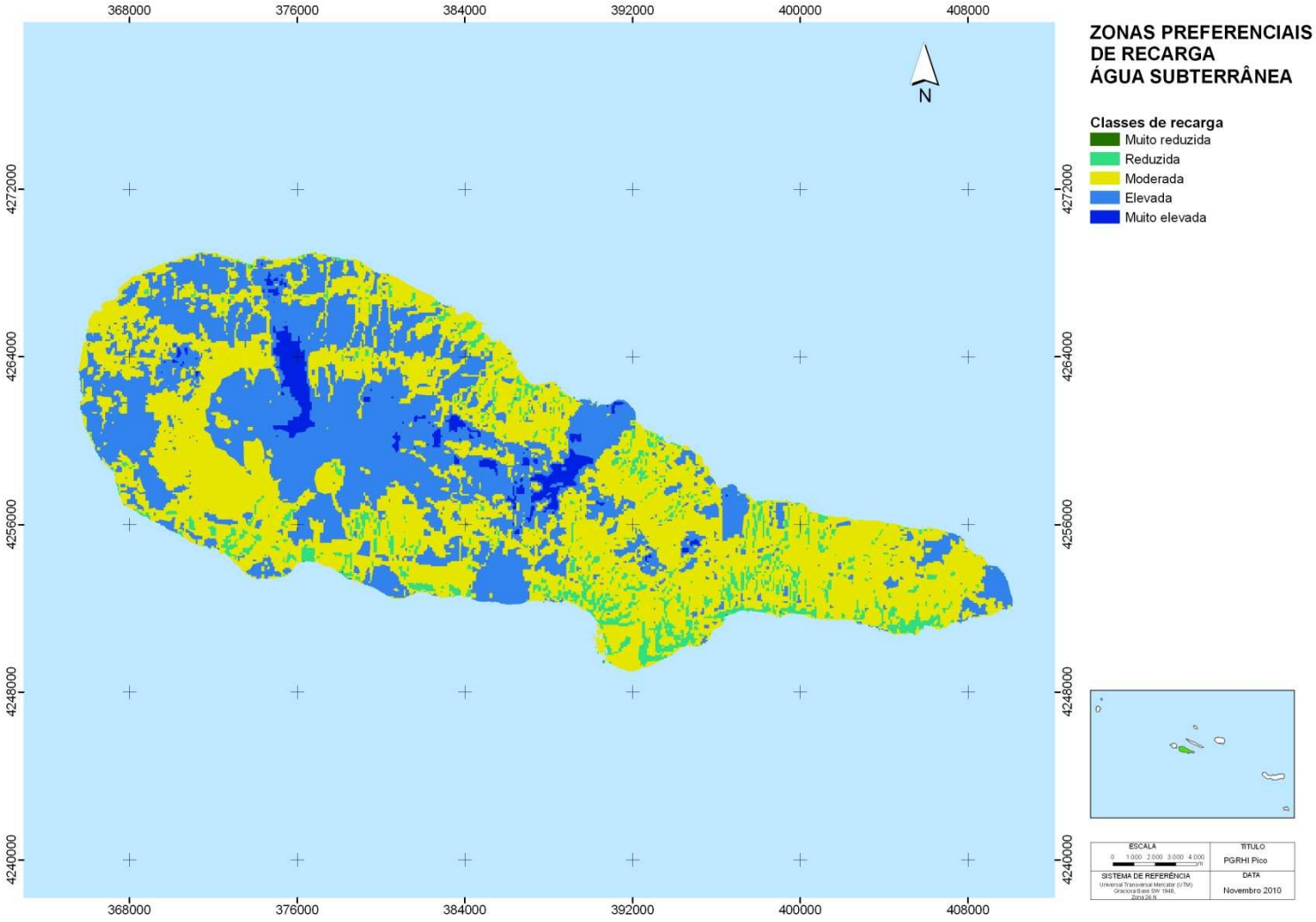


Figura 3.33 | Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

3.7.5 | HIDROGEOQUÍMICA

A presente caracterização hidrogeoquímica teve como ponto de partida os dados agregados apresentados no âmbito do estudos de base de elaboração do Plano Regional da Água (Cruz, 2001a), posteriormente retomados em Cruz (2004), uma vez que permitem estabelecer o panorama existente no arquipélago dos Açores.

A projecção em diagrama de Piper dos resultados analíticos que é possível compilar, permite evidenciar que a água subterrânea na ilha do Pico é predominantemente do tipo cloretada sódica, correspondendo em especial, às águas amostradas no aquífero de base, mediante furos e poços de maré e apresentando uma tendência para composições bicarbonatadas nas nascentes, que drenam aquíferos em altitude (Figura 3.34). Correspondem a águas frias, em que a gama de condutividades, entre 69 e 9790 μS/cm, indicia a ocorrência de amostras muito mineralizadas, por influência de sais de origem marinha.

As águas amostradas são ligeiramente alcalinas, variando os valores de pH entre 6,28 e 9, com um valor de mediana igual a 7,4, e a alcalinidade varia entre 22,5 e 388,5 mg/L de $CaCO_3$, com um valor de mediana igual a 111,5 mg/L de $CaCO_3$. A maioria das amostras pode ser considerada como brandas a muito duras, embora o valor da mediana corresponda a este último grupo.

Na ilha do Pico não ocorrem nascentes termais. A nascente da Silveira constitui, no entanto, um exemplo da contribuição de gases de origem profunda e vulcânica, manifestada pelo valor elevado de P_{CO2} ($10^{1,031}$), detectado naquele ponto (Cruz, 1997).

Fruto do grau diverso de contaminação por sais marinhos, a mineralização da água subterrânea é muito variável e, por este facto, o quimismo das águas dos furos e dos poços de maré, apesar de dominado pelos iões cloreto e sódio, apresenta várias magnitudes (Cruz, 1997; Cruz & Silva, 2000), o que pode ser imediatamente observado a partir do diagrama de Schoeller (Figura 3.34). Por exemplo, a massa de água Piedade, cujas fácies predominantes correspondem aos tipos cloretada sódica e bicarbonatada sódica magnesiana, agrega nascentes e furos pelo que a variabilidade composicional é patente, quer ao nível da composição, quer ao nível da magnitude de mineralização, que pode ser traduzida pela banda larga de valores da condutividade, distribuídos entre 69 e 9590 μS/cm.

O catião dominante na massa Piedade corresponde ao sódio, que varia entre 8,9 e 3640 mg/L, enquanto os aniões predominantes, o cloreto, e nas nascentes o bicarbonato, variem respectivamente de 10,7 a 6693,25 mg/L e de 20,5 a 347,7 mg/L.

Todas as amostras incluídas nas massas de águas Montanha e Madalena-São Roque do Pico apresentam uma tipologia cloretada sódica, com condutividades geralmente elevadas. São águas eminentemente influenciadas pela contaminação por sais marinhos, em que os iões mais importantes são o cloreto e o sódio, que na massa Montanha variam respectivamente entre 242,11 a 3579,92 mg/L e 134 a 2090 mg/L, e na massa Madalena - São Roque do Pico entre 285,06 a 4665,76 mg/L e 175 a 2530 mg/L.

Relativamente à massa de água subterrânea São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima só se possuem duas análises químicas, uma de fácies bicarbonatada sódica, que corresponde a uma nascente com uma condutividade igual a 188 μS/cm, e a outra relativa a um furo de captação, de condutividade igual a 723 μS/cm. Na água de emergência os iões mais importantes são o bicarbonato e o sódio, respectivamente iguais a 27,45 mg/L e 5,4 mg/L. No furo de captação o anião mais importante, o cloreto, é igual a 165,08 mg/L, e o catião dominante, o sódio, é igual a 78,5 mg/L.

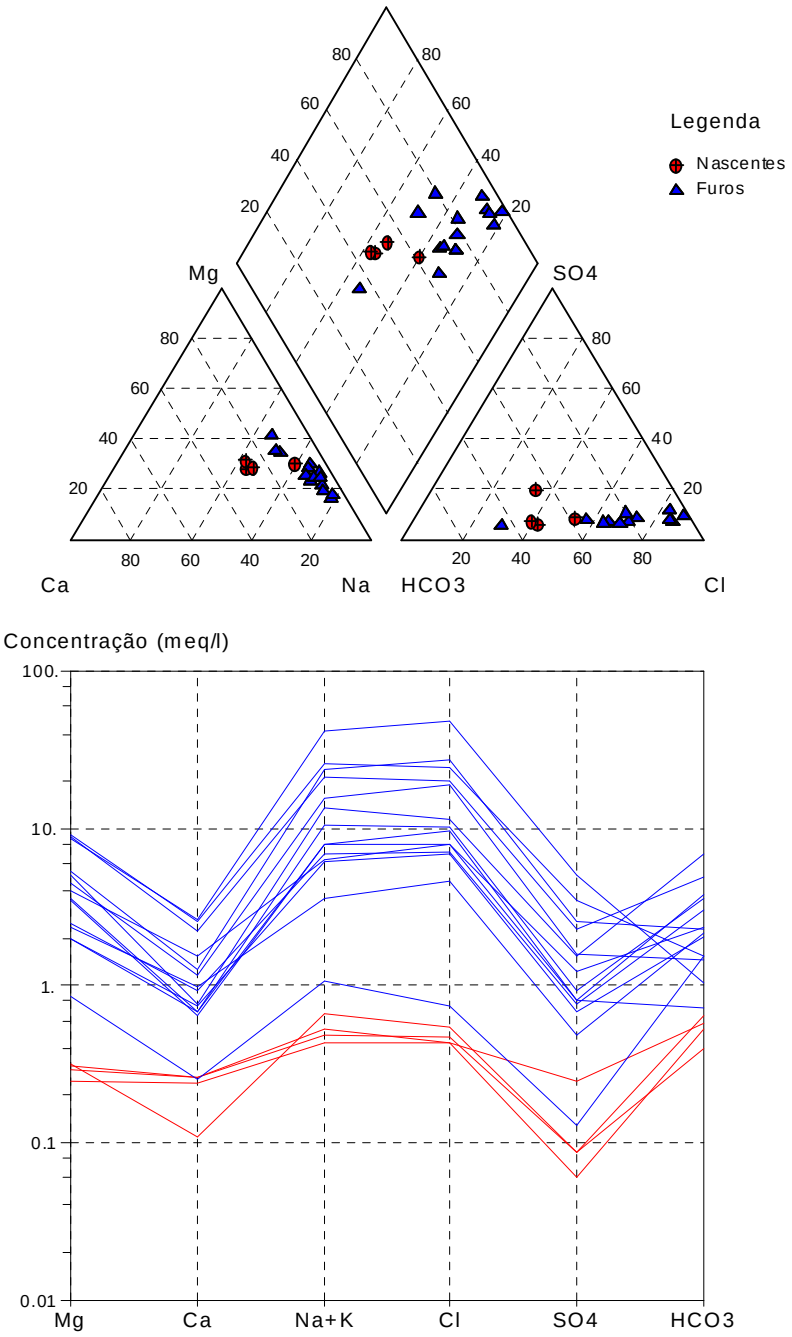


Figura 3.34 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes e furos na ilha do Pico (Cruz, 2004).

3.7.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

No âmbito da elaboração do PGRH da ilha do PIco, a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em quatro classes (Aller *et al.*, 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha do Pico corresponde à classe de moderada vulnerabilidade à poluição, embora existam alguns sectores bem delimitados em que predomina a classe de vulnerabilidade baixa a moderada Por outro lado, em especial em zonas geologicamente muito recentes, observam-se algumas zonas de elevada vulnerabilidade à poluição, mas que no contexto geral da ilha são espacialmente pouco representativas. (Figura 3.35).

Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pelas massas Madalena - São Roque do Pico, Montanha e Piedade predomina a classe de vulnerabilidade moderada, embora, como referido anteriormente, ocorram nalgumas zonas áreas de vulnerabilidade elevada. Por seu turno, a classe de baixa a média vulnerabilidade corresponde à área aflorante das Arrife, Lajes e São Miguel Arcanjo - Prainha de Cima.

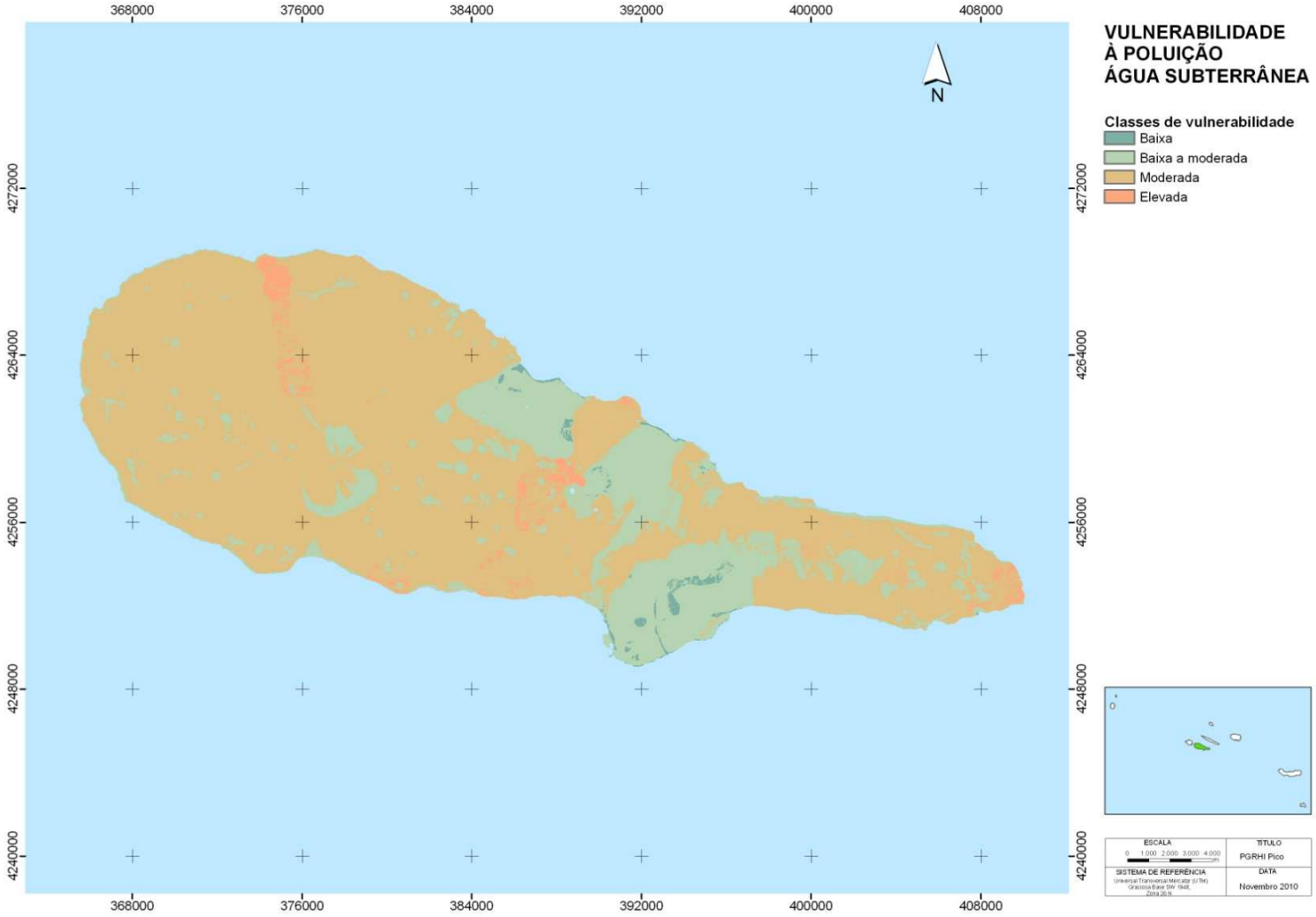


Figura 3.35 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha do Pico (AHA-SRAM, 2011).

3.8 | HIDROGEOLOGIA DA ILHA DAS FLORES

3.8.1| DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ÁGUA

O inventário de pontos de água assentou em quatro pilares fundamentais: o levantamento do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR), consultado em linha; o estudo elaborado no âmbito do Plano Regional da Água, (PRA), (Cruz, 2001a); o trabalho respeitante ao Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais da Região Autónoma dos Açores (PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA, 2005) e os resultados do projecto de definição dos perímetros de protecção às captações de água subterrânea (Coutinho *et al*., 2008). Este último pilar foi considerado o mais completo e pormenorizado, uma vez que foi baseado em trabalhos de campo que pressupuseram a visita a todos os pontos de água captados para uso humano, realizados com o apoio das entidades gestoras dos sistemas de abastecimento, tendo sido complementado com as outras fontes supracitadas. Relativamente aos pontos não captados, a única fonte utilizada correspondeu ao levantamento do PRA, na medida que os restantes estudos não os abrangem.

A distribuição dos pontos de água existentes na ilha, que totalizam 75 nascentes (0,53 nascentes/km^2), encontra-se representada na Figura 3.36. Relativamente à distribuição das nascentes, ocorrem 44, na massa de água Intermédio, 24, na massa de água Superior e apenas sete, na massa de água Inferior.

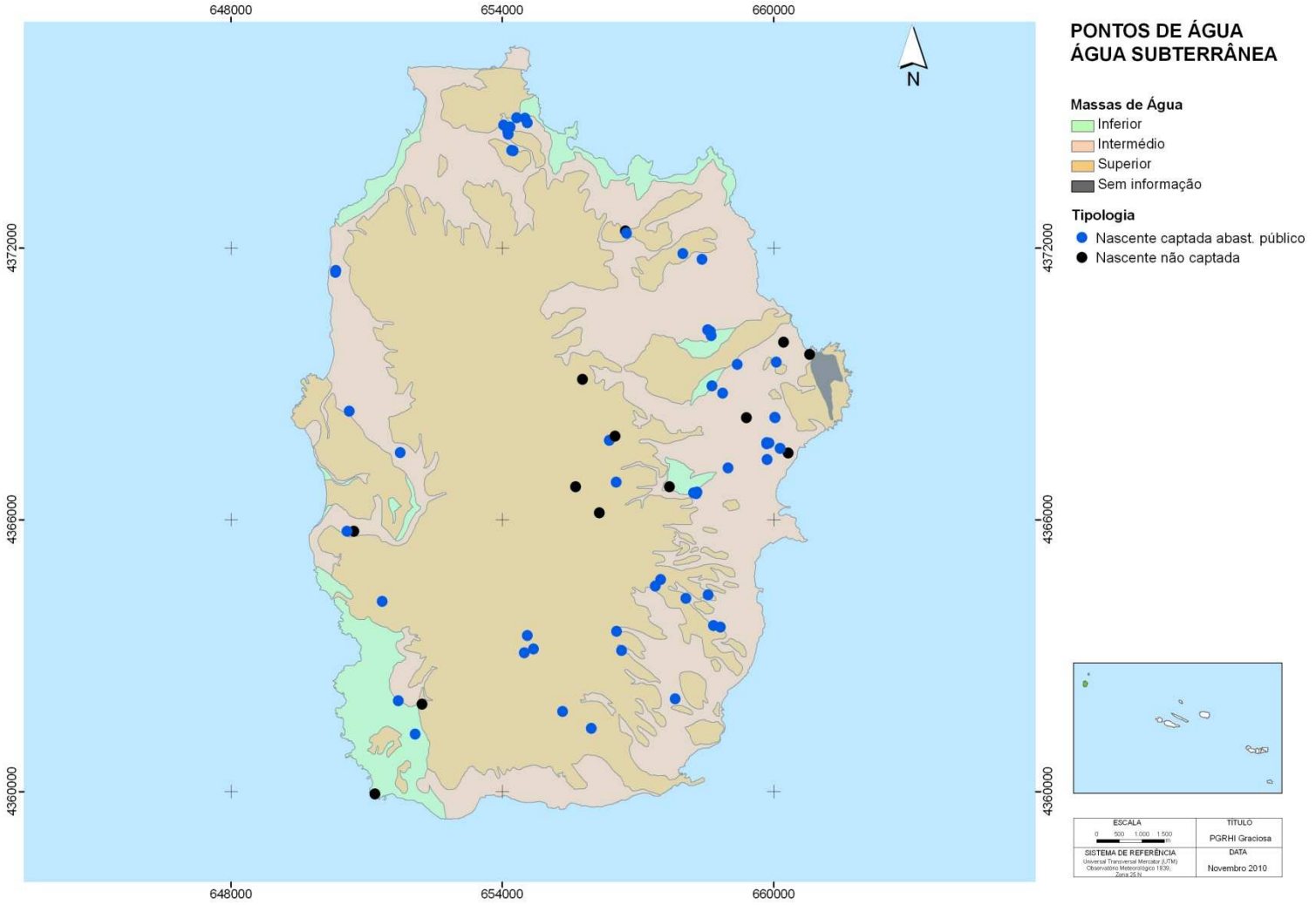


Figura 3.36 | Distribuição de pontos de água na ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

3.8.2 | CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS DE ÁGUA

Na ilha das Flores foram delimitadas três massas de água (Figura 3.37). A respectiva delimitação teve como base os sistemas aquíferos cartografados no decurso da elaboração do Plano Regional da Água (DROTRH, 2006; AHA-SRAM, 2011).

A descrição das características gerais dos estratos da área de drenagem das massas de água subterrâneas delimitadas na ilha das Flores foi efectuada com base nos trabalhos de Zbyszewski *et al.* (1968), Mourisseau (1987), Azevedo (1998), Cruz (2001a & 2004) e França *et al.* (2003).

As massas de água delimitadas são as seguintes:

- Massa de água Superior

Com uma área aflorante da ordem de 84,3 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 59,8% da superfície das Flores, correspondendo ao sector central da ilha, e confrontando em toda a sua bordadura com as restantes massas delimitadas. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Santa Cruz das Flores e Lajes das Flores.

Esta massa de água corresponde a um sistema de aquíferos de altitude, fissurados e porosos, admitindo-se a existência de aquíferos livres e semiconfinados, descontínuos no sistema, e limitados por níveis de permeabilidade reduzida.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Superior, unidades CS2 e CS3, que domina o sector central da ilha das Flores.

- Massa de água Intermédio

Com uma área aflorante da ordem de 33,6 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 47,4% da superfície das Flores, ocupando predominantemente a bordadura da ilha, confrontando com as restantes massas delimitadas. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Santa Cruz das Flores e Lajes das Flores.

Esta massa de água corresponde a um sistema de altitude e basal constituído por aquíferos essencialmente fissurados, intercalados com níveis porosos, podendo ocorrer aquíferos livres e semiconfinados descontínuos.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo Superior, unidade CS1, que aflora na bordadura da ilha das Flores.

- Massa de água Inferior

Com uma área aflorante da ordem de 9,3 km^2, esta massa de água tem como âmbito territorial cerca de 6,6% da superfície das Flores e ocupa predominantemente a bordadura da ilha, em particular nos sectores SSW e N, confrontando com as restantes massas delimitadas. Em termos administrativos a área que constitui a massa de água integra-se nos concelhos de Santa Cruz das Flores e Lajes das Flores.

Esta massa de água corresponde a um sistema constituído por formações de permeabilidade muito reduzida que, no entanto, localmente, podem apresentar aquíferos descontínuos, de altitude e basais, predominantemente fissurados.

Do ponto de vista geológico, esta massa de água corresponde ao denominado Complexo de Base, unidades CB1 e CB2, que afloram predominantemente nalguns sectores da área costeira da ilha das Flores, nomeadamente a N e a SW, bem como nalguns retalhos no interior.

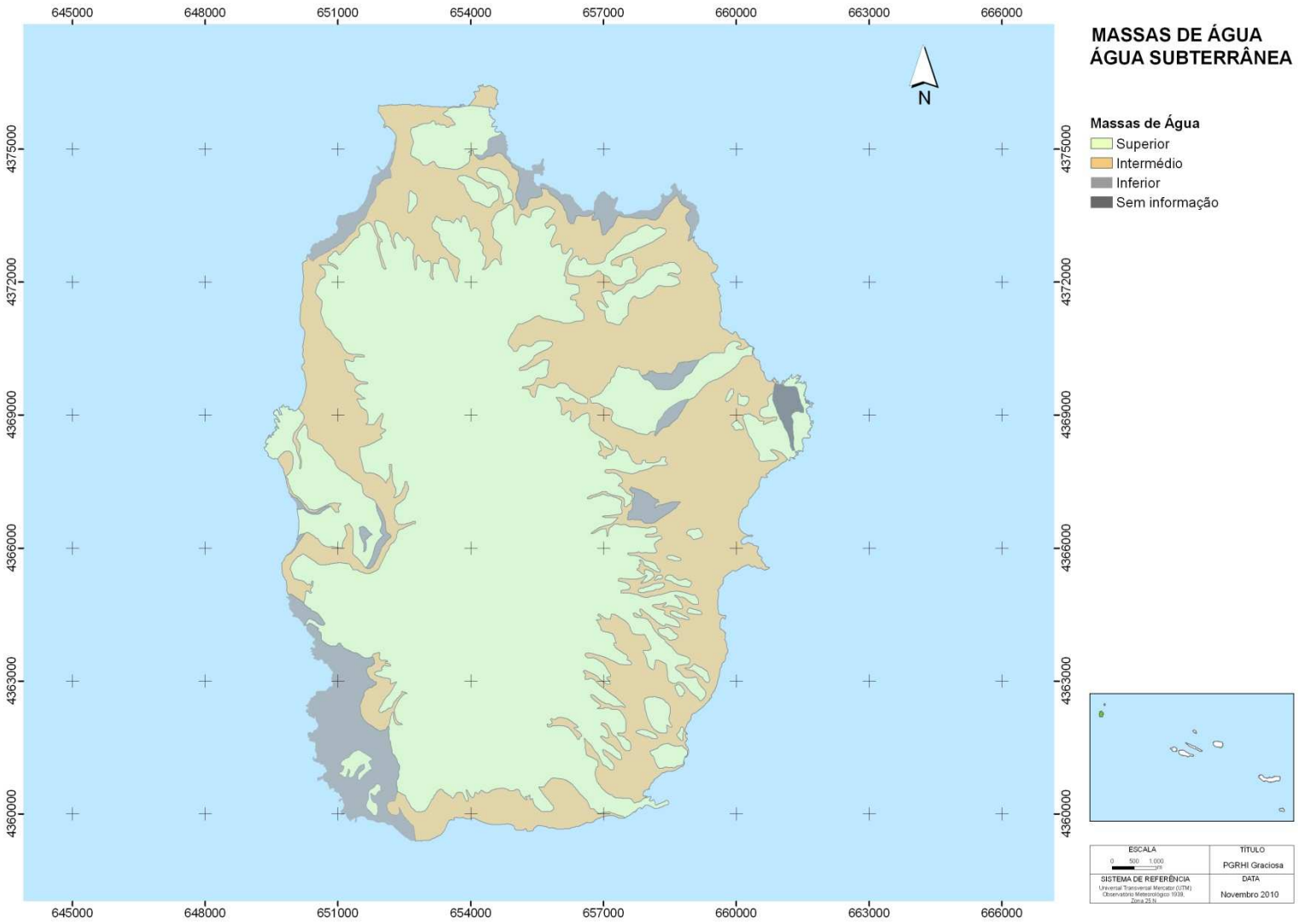


Figura 3.37 | Massas de água da ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

3.8.3 | RECURSOS HÍDRICOS DISPONÍVEIS

Na ilha das Flores os recursos hídricos subterrâneos são, no geral, elevados, totalizando 101,4 hm^3/ano. A massa de água Superior é a que possui, recursos mais elevados, com um valor de 80 hm^3/ano; nas massas de água Intermédia e Inferior esse valor desce, respectivamente, para totais da ordem de 18,8 hm^3/ano e 2,4 hm^3/ano.

Considerando uma fracção não disponível igual a 40% dos recursos estimados a longo prazo, i.e. a recarga, valor que se estima poder compensar os constrangimentos geológicos e hidrogeológicos e, paralelamente, ser suficiente para assegurar a parte do escoamento subterrâneo que alimenta os cursos de água, as disponibilidades reais nas massas de água subterrânea das Flores são respectivamente iguais a 48 hm^3/ano (Superior), 11,3 hm^3/ano (Intermédio) e 1,4 hm^3/ano (Inferior).

3.8.4 | ÁREAS DE RECARGA

Na Figura 3.38 representa-se a distribuição das zonas preferenciais de recarga na ilha das Flores. A análise cartográfica permite evidenciar que na ilha predominam as classes de recarga elevada a reduzida, embora se observem regiões representativas de todas as classes.

As classes de recarga elevada e muito elevada predominam nas zonas de maior altitude, em especial na região central da ilha. A classe de recarga reduzida está particularmente bem representada na zona costeira da ilha. Considerando o âmbito territorial das massas de água subterrânea, constata-se que na massa Superior as classes de recarga dominantes são a elevada a moderada, o que é compatível com a taxa de recarga estimada, igual a 32%.

Na área dominada pelas massas de água Intermédio e Inferior, a classe de recarga predominante corresponde à classe reduzida. Os resultados obtidos para estas massas enquadram-se na gama de valores de taxa de recarga estimados na ilha das Flores, que variam entre 14% na massa Inferior e 18% na massa Intermédio.

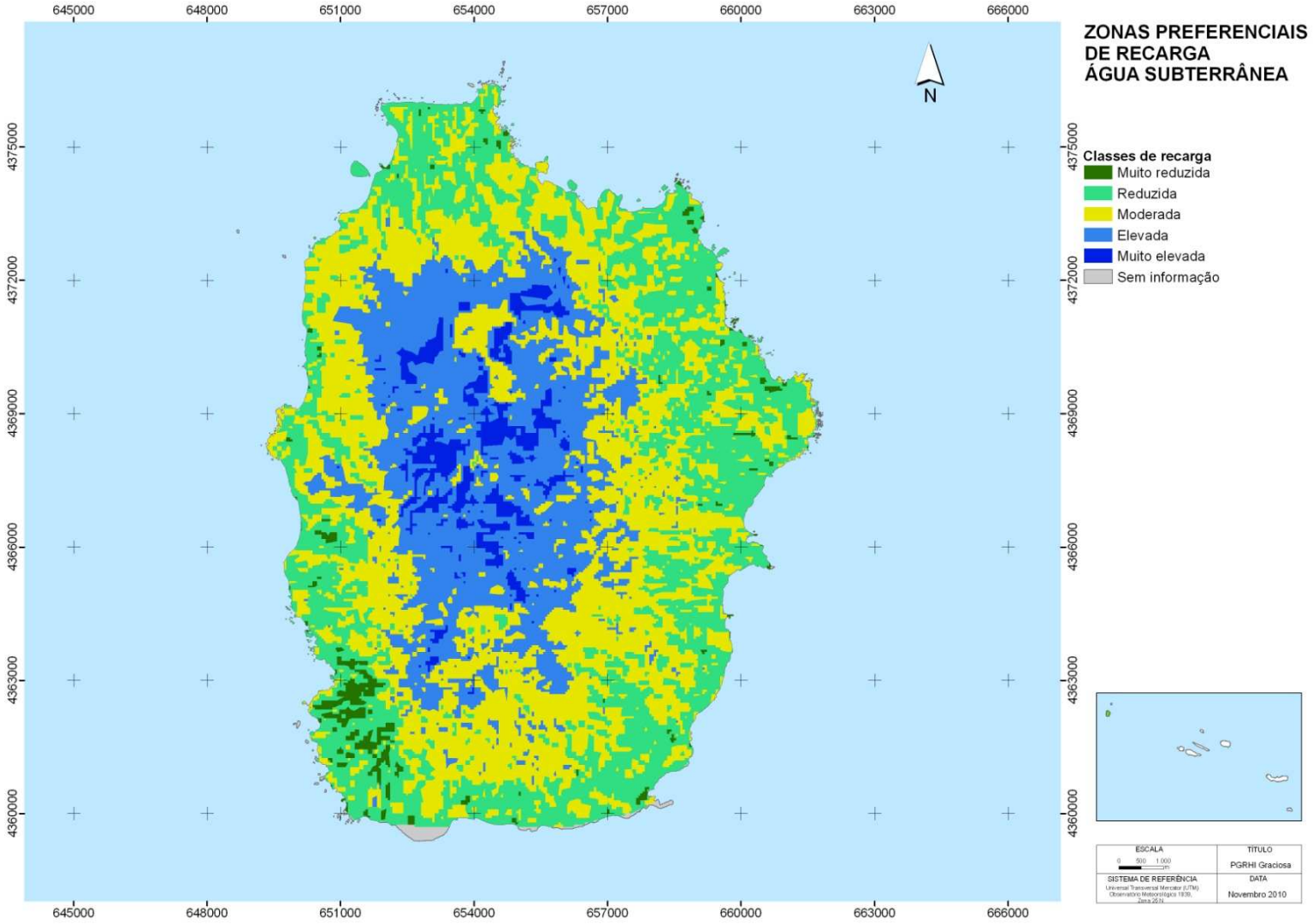


Figura 3.38 | Zonas preferenciais de recarga de água subterrânea ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

3.8.5 | HIDROGEOQUÍMICA

Na ilha das Flores a água subterrânea é predominantemente dos tipos bicarbonatada sódica e cloretada sódica, com algumas amostras com tendências sódica cálcica, cálcica magnesiana e sódica magnesiana (Figura 3.39).

As amostras referentes à ilha das Flores correspondem a águas ligeiramente ácidas a alcalinas, e com base na temperatura pode ser realizada uma clara separação entre as massas de águas subterrâneas. Com efeito, nas massas Superior e Intermédia as águas são frias, com um valor máximo de 17,7ºC, enquanto na massa Inferior ocorrem duas águas termais cujas temperaturas são respectivamente 24,8 ºC (nascente do Poio Moreno) e 53 ºC (nascente da Costa do Lajedo). A condutividade eléctrica das águas emergentes varia entre 68 e 2100 μS/cm.

O diagrama de Schoeller demonstra inequivocamente a semelhança da composição química das várias amostras recolhidas ilha (Figura 3.39).

As águas emergentes da massa Superior correspondem a águas bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas sódicas cálcicas, pouco mineralizadas, reflectidas em condutividades baixas, que variam entre 68 a 208 μS/cm. O catião predominante é o sódio, que apresenta um valor de mediana igual a 19,6 mg/L, o que é patente no diagrama de Schoeller respectivo, que mostra inequivocamente a semelhança da composição química das várias amostras. O bicarbonato é o anião característico destas amostras, com uma concentração que varia entre 35 e 86,7 mg/L.

Na massa de água Intermédia a fácies predominante é a cloretada sódica, com valores de condutividade das amostras semelhantes aos observados na unidade anterior: o valor máximo é 210 μS/cm e o mínimo é igual a 81 μS/cm, com uma mediana de 120 μS/cm. O diagrama de Schoeller permite verificar que os resultados analíticos apontam para a ocorrência de águas semelhantes do ponto de vista composicional. O cloreto e o bicarbonato são os aniões predominantes, com valores de mediana respectivamente iguais a 24,5 mg/L e 32 mg/L. O catião mais significativo é o sódio, que varia entre 6.3 e 24,6 mg/L, embora algumas amostras patenteiem uma tendência secundária cálcica e/ou magnesiana.

Em face da tipologia das emergências incluídas na massa de água Inferior, que compreendem duas águas termais, a hidroquímica desta unidade é diversa dos sistemas anteriores. A condutividade das amostras é superior, variando entre 1255 μS/cm na nascente do Poio Moreno, e 2100 μS/cm na nascente da Costa do Lajedo, reflectindo mineralizações mais elevadas, em que o anião bicarbonato atinge valores respectivamente

iguais a 804 mg/L e 642,5 mg/L. A nascente do Poio Moreno corresponde a uma água bicarbonatada magnesiana sódica, enquanto a nascente da Costa do Lajedo apresenta uma fácies bicarbonatada sódica, o que no primeiro caso reflecte o facto do catião predominante ser o magnésio e no segundo exemplo o sódio.

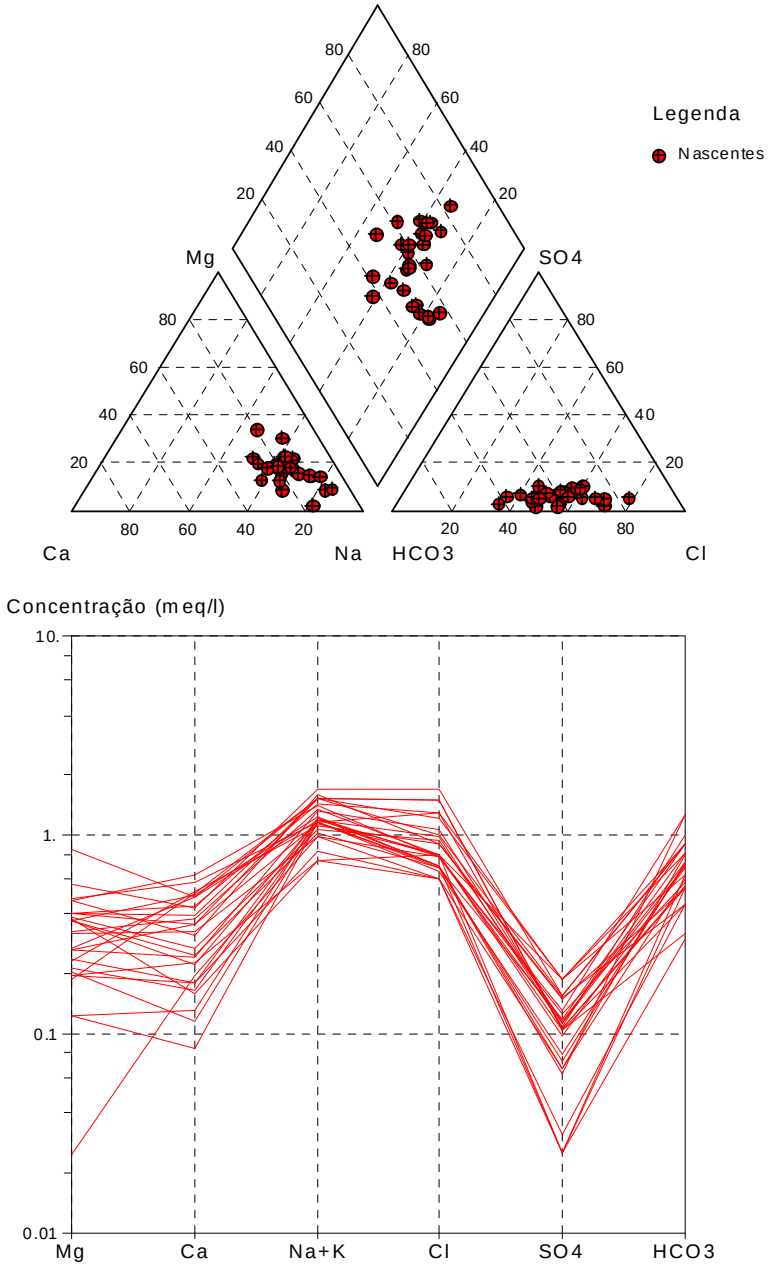


Figura 3.39 | Diagramas de Piper e de Schoeller relativos à composição química da água captada nas nascentes da ilha das Flores (Cruz, 2004).

3.8.6 | VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Na ilha das Flores a vulnerabilidade à poluição assentou na utilização do índice DRASTIC, subdividido em seis classes (Aller *et al.*, 1987).

A cartografia final põe em evidência que a maior parte da superfície da ilha corresponde à classe de baixa a moderada vulnerabilidade à poluição. Esta classe distribui-se por toda a ilha das Flores, com excepção, essencialmente, de alguns sectores na área costeira N e SW, onde domina a classe de baixa vulnerabilidade, e algumas áreas disseminadas na zona interior central onde a vulnerabilidade pode ser designada como moderada (Figura 3.40). Considerando a área aflorante das massas de água subterrânea constata-se que na área dominada pela massa Inferior predomina a classe de baixa vulnerabilidade. A classe de baixa a moderada vulnerabilidade corresponde à maioria da área aflorante das massas Intermédio e Superior, embora nesta última ocorram as áreas de vulnerabilidade moderada referidas anteriormente.

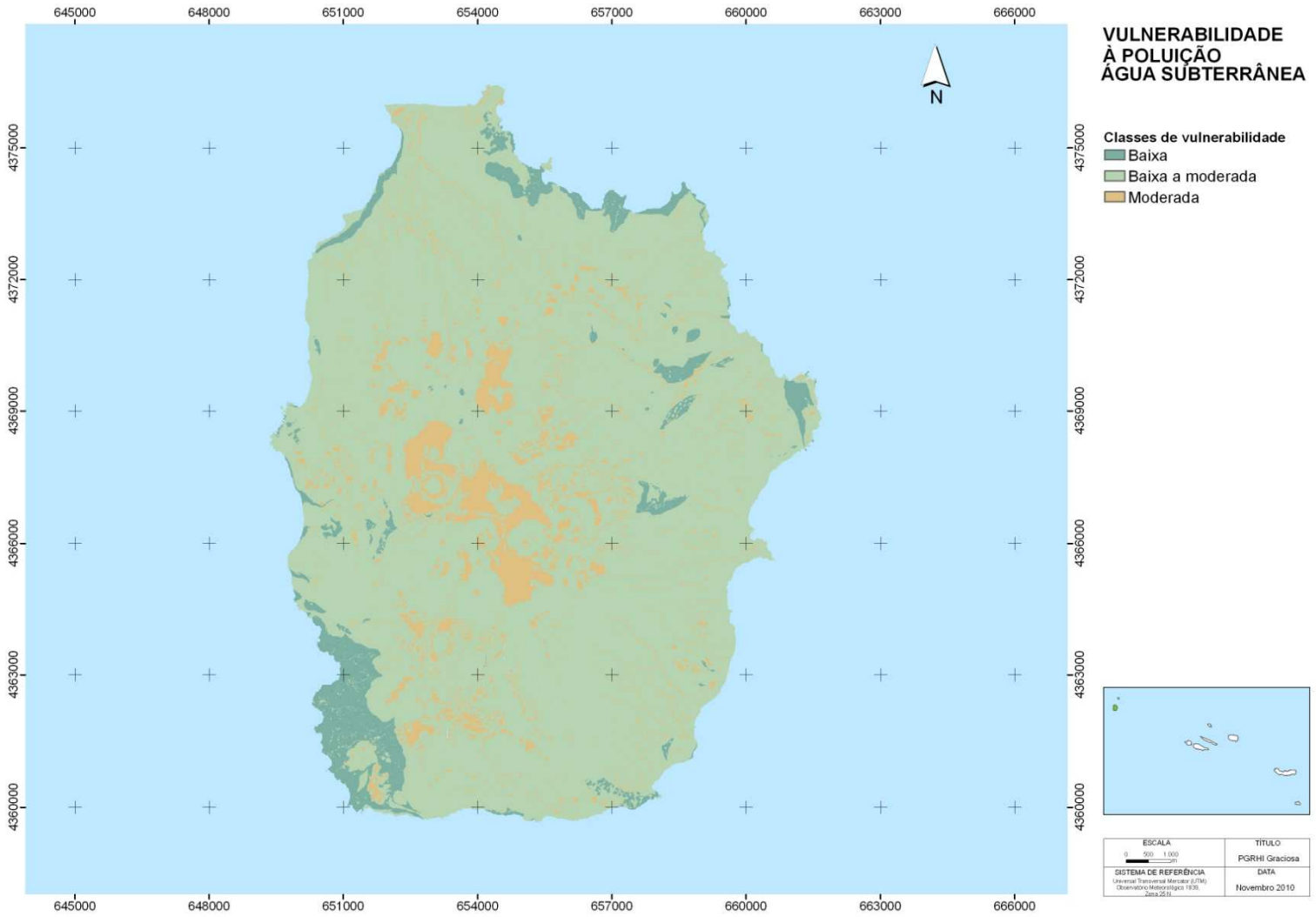


Figura 3.40 | Representação cartográfica da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas da ilha das Flores (AHA-SRAM, 2011).

4 | ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES

4.1 | DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ÁGUA MINERAL

No arquipélago dos Açores procedeu-se a um levantamento de campo no intuito de localizar os pontos de água mineral existentes. Para este efeito utilizou-se, no terreno, o GPS modelo Garmin Map276C, no sistema de coordenadas UTM WGS 84, juntamente com as Cartas Militares, folhas 1-2 e 4-34, à escala 1:25000 referentes, àquele arquipélago.

As coordenadas UTM de cada ponto de água mineral foram rectificadas sempre que as coordenadas dadas pelo GPS, no momento, não coincidiam com a localização, observada directamente no local e indicada pela Carta Militar utilizada, à escala 1:25000, referente à zona de observação (Anexo A-I).

Os cento e dezasseis pontos de água mineral inventariados no arquipélago distribuem-se geograficamente por sete ilhas, nomeadamente, São Miguel (85 pontos), Terceira (nove pontos), Graciosa (nove pontos), Faial (três pontos), São Jorge (seis pontos), Pico (dois pontos) e Flores (dois pontos) (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 | Distribuição dos pontos de água mineral por ilha e no arquipélago dos Açores.

Ilha	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Miguel	85	73,2
Terceira	9	7,8
Graciosa	9	7,8
Faial	3	2,6
São Jorge	6	5,2
Pico	2	1,7
Flores	2	1,7
Açores (Total)	**116**	**100**

Em termos percentuais, tal como se pode observar na Figura 4.1, 73,2% das águas minerais existentes no arquipélago dos Açores situam-se na ilha de São Miguel, 7,8% na Terceira, 7,8% na Graciosa, 2,6% no Faial, 5,2% em São Jorge, 1,7% no Pico e 1,7% nas Flores.

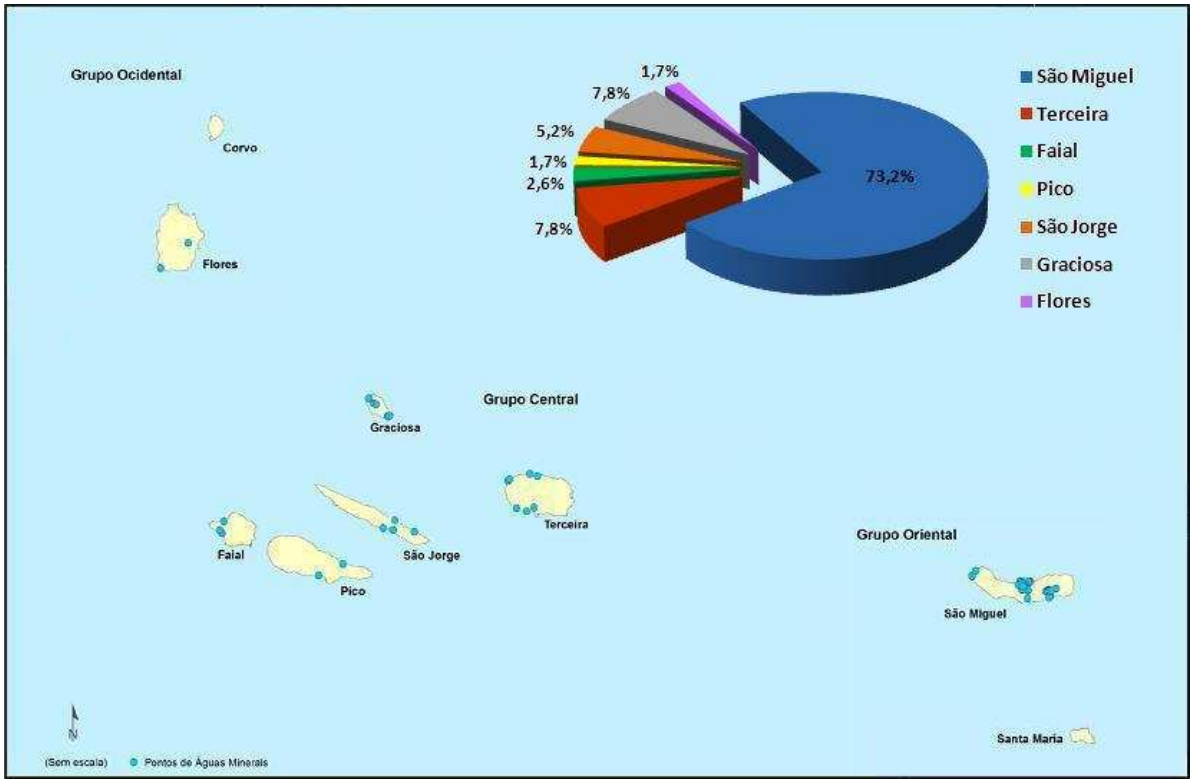


Figura 4.1 | Distribuição relativa dos pontos de água mineral no arquipélago dos Açores.

4.2 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DE SÃO MIGUEL

4.2.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha de São Miguel foram inventariados oitenta e cinco pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por quatro concelhos, nomeadamente, Ponta Delgada, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo e Povoação. Esta informação está compilada na tabela 4.2 e figura 4.2, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.2 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Ponta Delgada	Ginetes	4	5
	Mosteiros	2	2
Total Ponta Delgada		**6**	**7**
Ribeira Grande	Conceição	1	1
	Matriz	13	15
	Porto Formoso	6	7
	Ribeirinha	3	4
	Ribeira Seca	3	4
Total Ribeira Grande		**26**	**31**

Vila Franca do Campo	Água D´Alto	1	1
Total Vila Franca do Campo		**1**	**1**
Povoação	Furnas	47	55
	Povoação	1	1
	Ribeira Quente	4	5
Total Povoação		**52**	**61**
Total de São Miguel		**85**	**100**

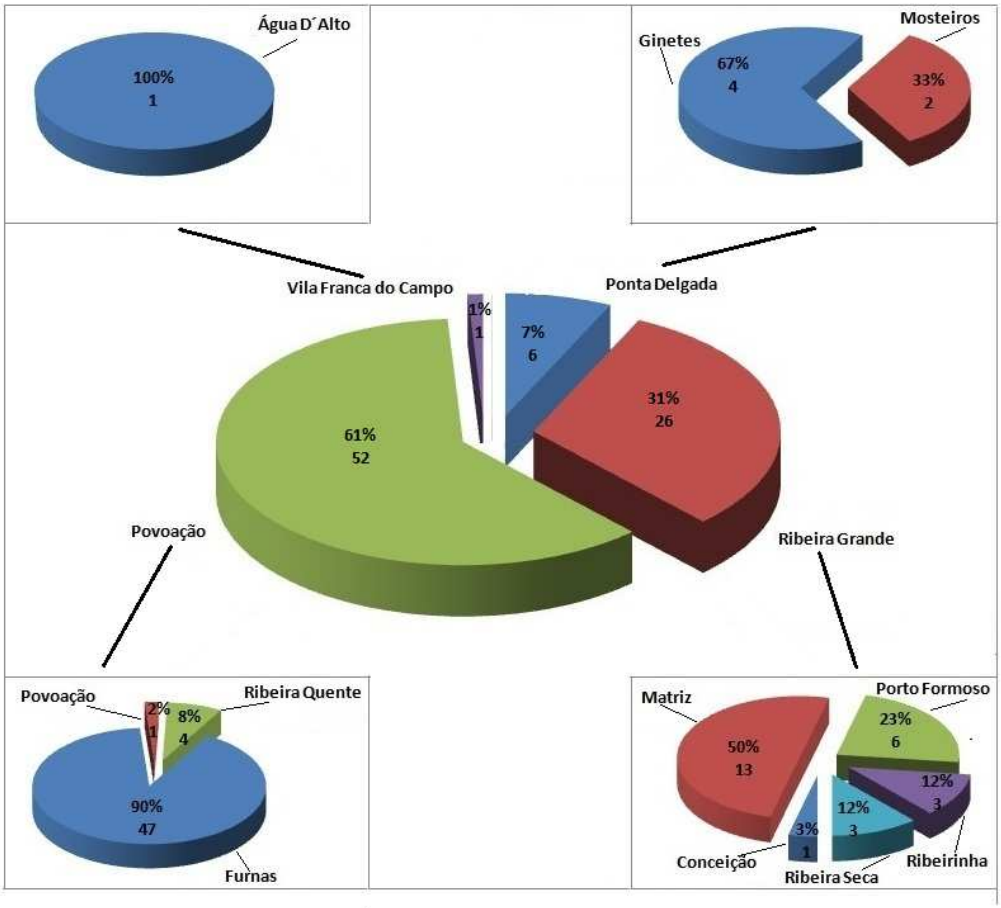


Figura 4.2 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

4.2.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha de São Miguel distribuem-se por quatro sistemas vulcânicos (Anexo A-II): 52 no Vulcão das Furnas (60%), seis no Vulcão das Sete Cidades (7%), um no Vulcão da Povoação (1%) e 27 no Vulcão do Fogo (32%) (Tabela 4.3 e Figura 4.3).

Tabela 4.3 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo os sistemas vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Miguel	Vulcão das Furnas	51	60
	Vulcão das Sete Cidades	6	7
	Vulcão da Povoação	1	1
	Vulcão do Fogo	27	32
	Ilha de São Miguel	**85**	**100**

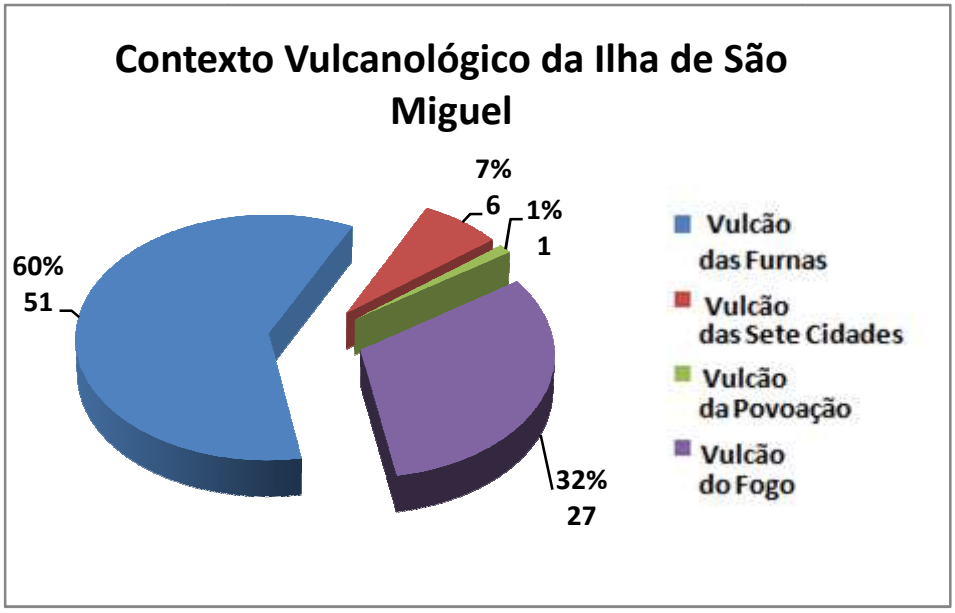


Figura 4.3 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo os sistemas vulcânicos.

4.2.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral de São Miguel distribuem-se por três das sete massas de água subterrânea (Figura 4.4) existentes na ilha (Anexo A-III): Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades.

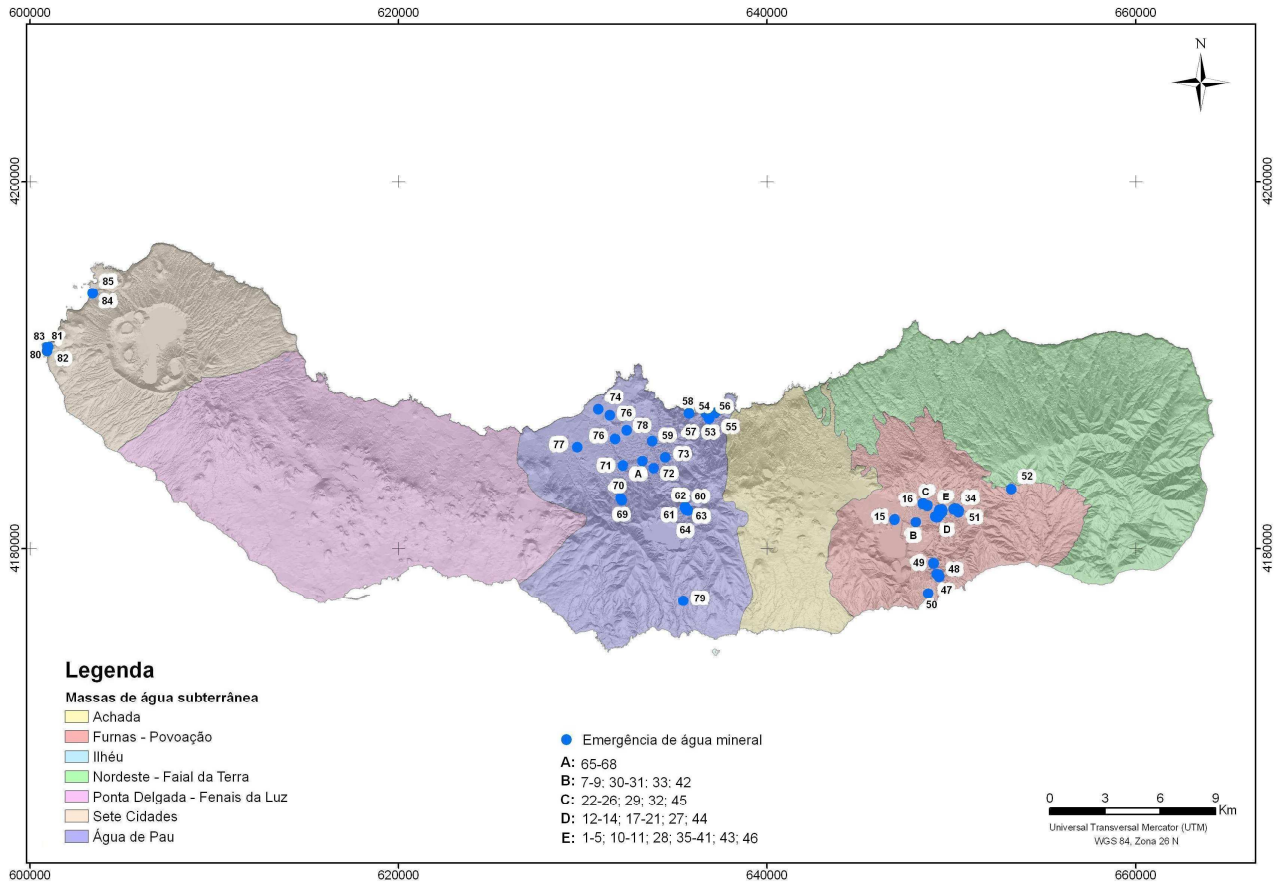


Figura 4.4 | Massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Tabela 4.4 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Miguel	Furnas - Povoação	52	61
	Água de Pau	27	32
	Sete Cidades	6	7
	Ilha de São Miguel	**85**	**100**

Na massa de água subterrânea Furnas - Povoação existem 52 pontos de água mineral (61 %), na massa de água subterrânea de Água de Pau ocorrem 27 (32%) e na massa de água subterrânea das Sete Cidades, apenas seis (7%) (Tabela 4.4 e Figura 4.5)

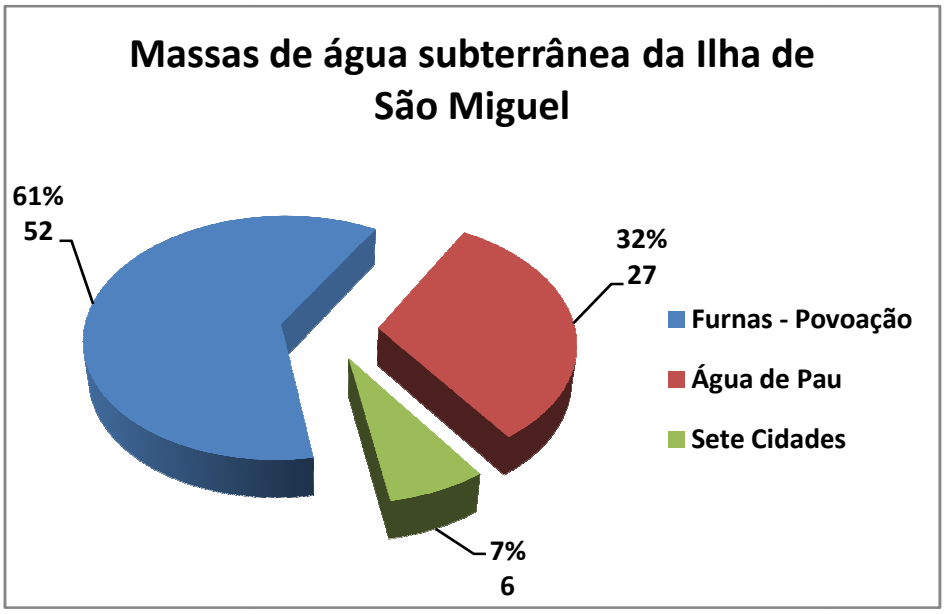


Figura 4.5 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Miguel.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha de São Miguel, dos 85 pontos de água mineral referenciados, 63 são nascentes (74%), 12 são fumarolas (14%), nove são furos (11%) e um corresponde a um poço de maré (1%); (Tabela 4.5 e Figura 4.6).

Tabela 4.5 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Miguel	Nascente	63	74
	Fumarola	12	14
	Furo	9	11
	Poço	1	1
	Ilha de São Miguel	**85**	**100**

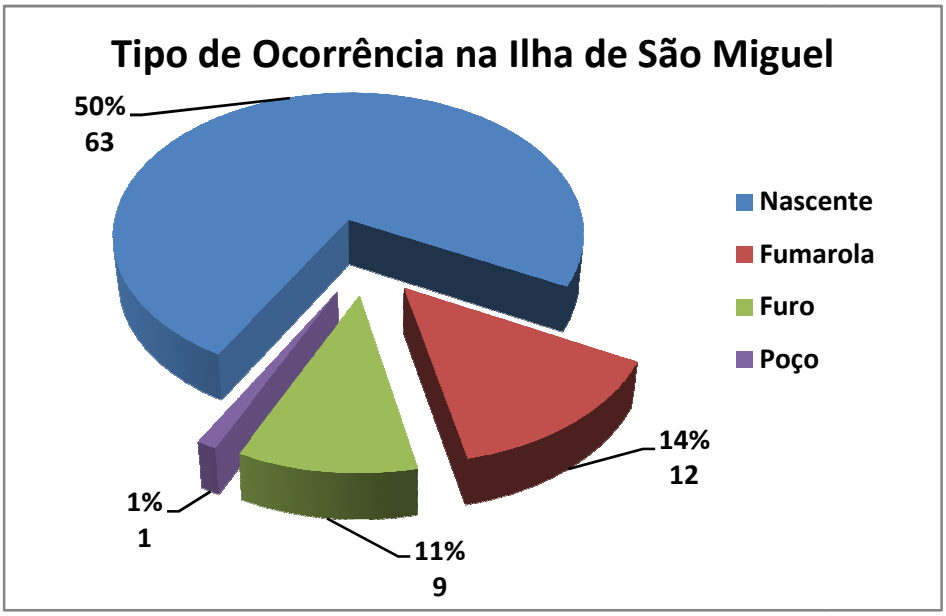


Figura 4.6 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que 71 pontos de água mineral (84%) emergem em aquíferos de altitude e 14 (16%) em aquíferos basais (Tabela 4.6 e Figura 4.7).

Tabela 4.6 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Miguel	Altitude	71	84
	Base	14	16
	Ilha de São Miguel	**85**	**100**

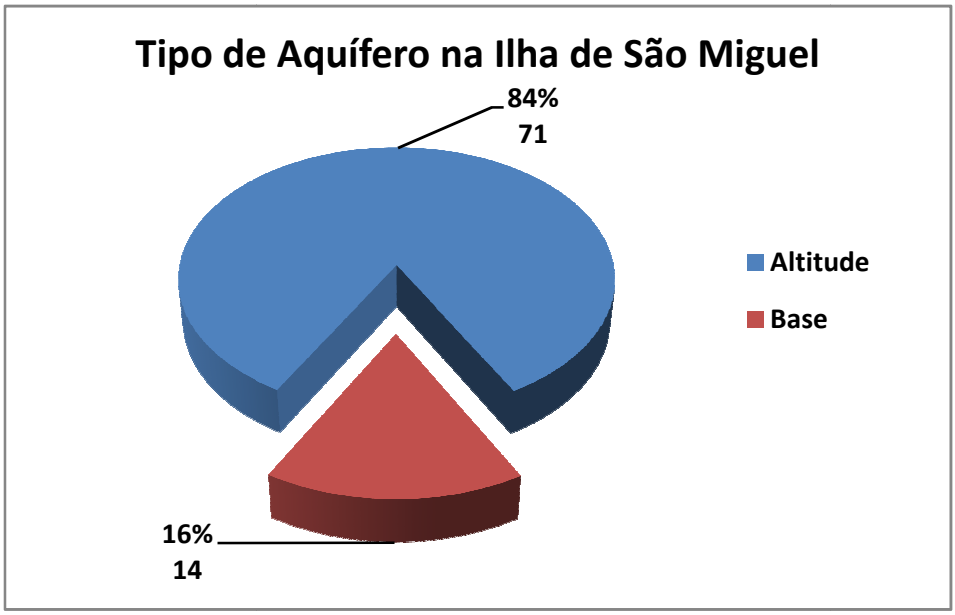


Figura 4.7 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha São Miguel segundo o tipo de aquífero.

4.3 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA TERCEIRA

4.3.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha de Terceira foram inventariados nove pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por dois concelhos, nomeadamente, Angra do Heroísmo e Praia da Vitória. Esta informação está compilada na tabela 4.7 e figura 4.8, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.7 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Angra do Heroísmo	São Pedro	1	11,1
	Terra Chã	1	11,1
	São Mateus da Calheta	2	22,2
	Serreta	2	22,2
Total Angra do Heroísmo		**6**	**66,7**
Praia da Vitória	Biscoitos	2	22,2
	Quatro Ribeiras	1	11,1
Total Praia da Vitória		**3**	**33,3**
Total da Terceira		**9**	**100**

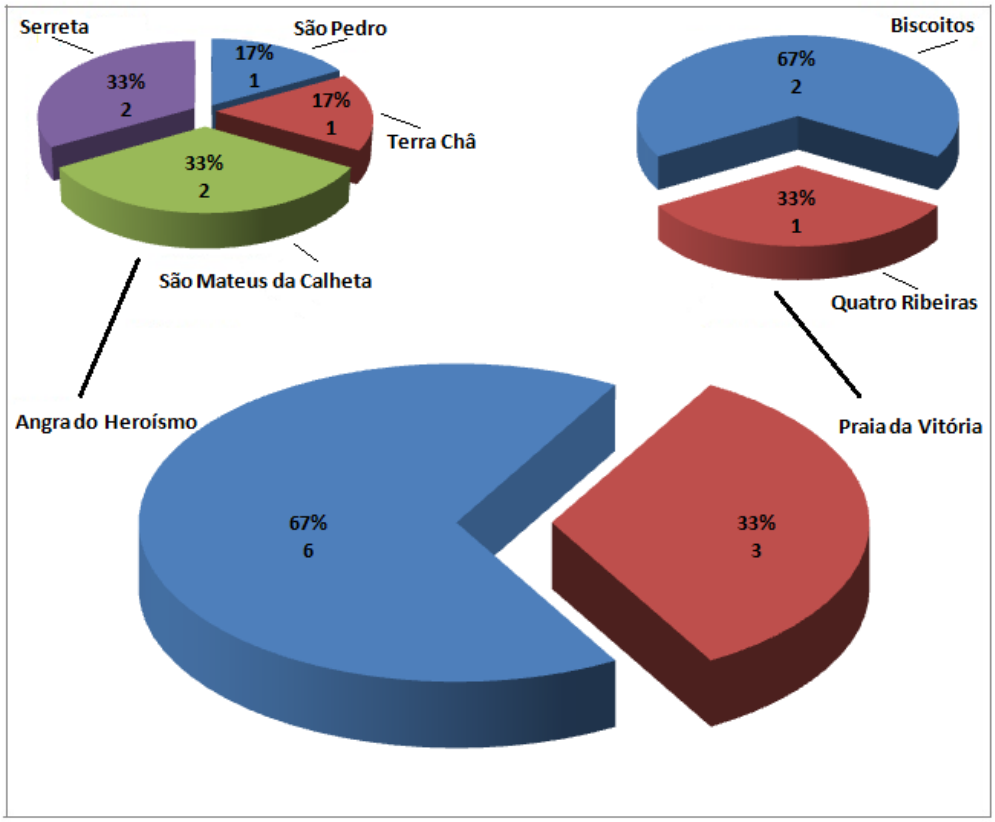


Figura 4.8 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira por concelho e freguesia.

4.3.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha Terceira distribuem-se por quatro complexos vulcânicos (Anexo A-II): um no Complexo Vulcânico Guilherme Moniz (11%), dois no Complexo Vulcânico de Santa Barbara (22%), um no Complexo Vulcânico do Pico Alto (11%) e cinco na Zona Basáltica Fissural (56%) (Tabela 4.8 e Figura 4.9).

Tabela 4.8 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Terceira	Complexo Vulcânico Guilherme Moniz	1	11
	Complexo Vulcânico de Santa Bárbara	2	22
	Complexo Vulcânico do Pico Alto	1	11
	Zona Basáltica Fissural	5	56
	Ilha Terceira	**9**	**100**

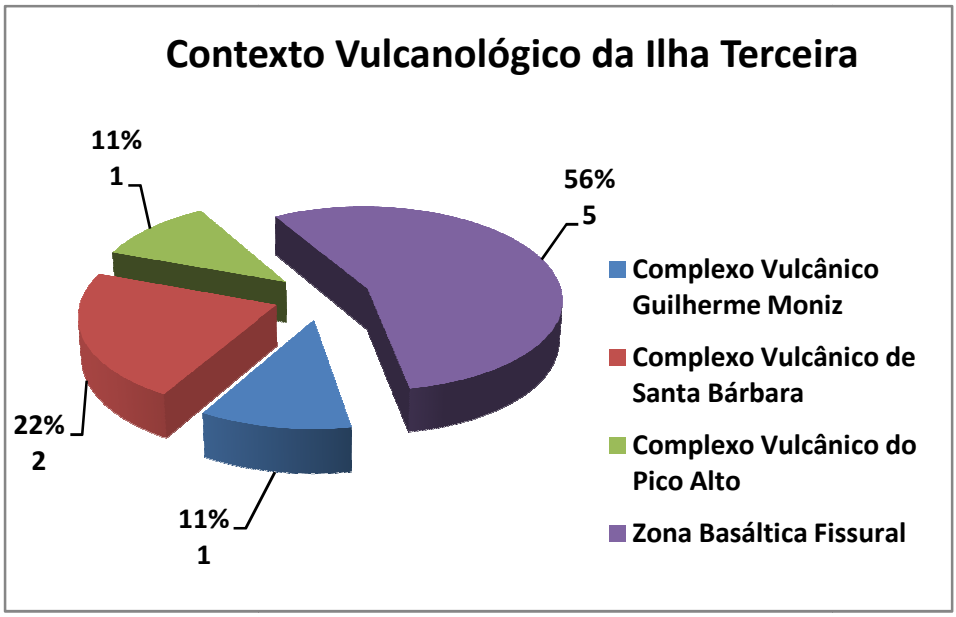


Figura 4.9 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo os complexos vulcânicos.

4.3.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral da Terceira distribuem-se por quatro das onze massas de água subterrânea (Figura 4.10) existentes na ilha (Anexo A-III): Aquífero Central, Santa Barbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Biscoitos - Terra Chã.

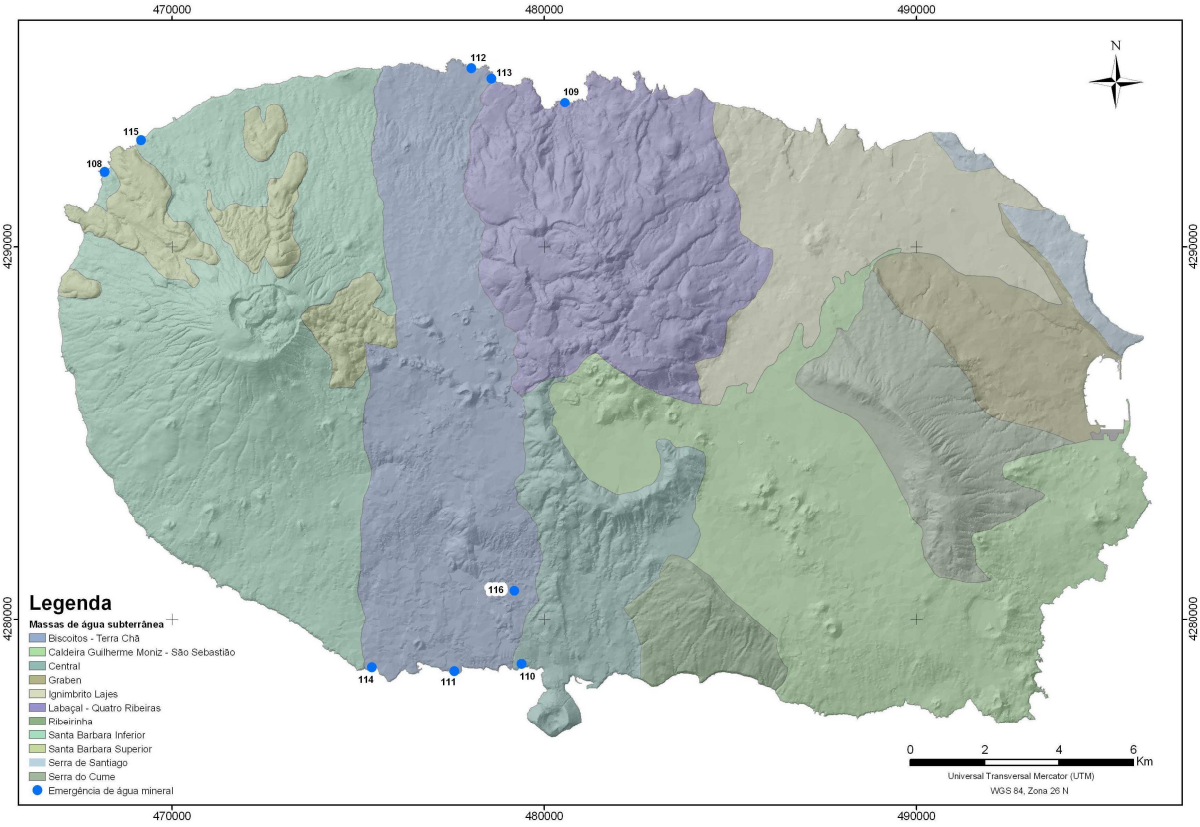


Figura 4.10 | Massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Tabela 4.9 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Terceira	Aquífero Central	1	11
	Santa Bárbara Inferior	2	22
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	11
	Biscoitos - Terra Chã	5	56
	Ilha Terceira	**9**	**100**

Na massa de água subterrânea Aquífero Central existe um ponto de água mineral (11%), na massa de água subterrânea de Santa Barbara Inferior ocorrem dois (22%), na massa de água subterrânea do Labaçal - Quatro Ribeiras, apenas um (11%) e na massa de água subterrânea dos Biscoitos - Terra Chã existem cinco pontos de água mineral (56%) (Tabela 4.9 e Figura 4.11).

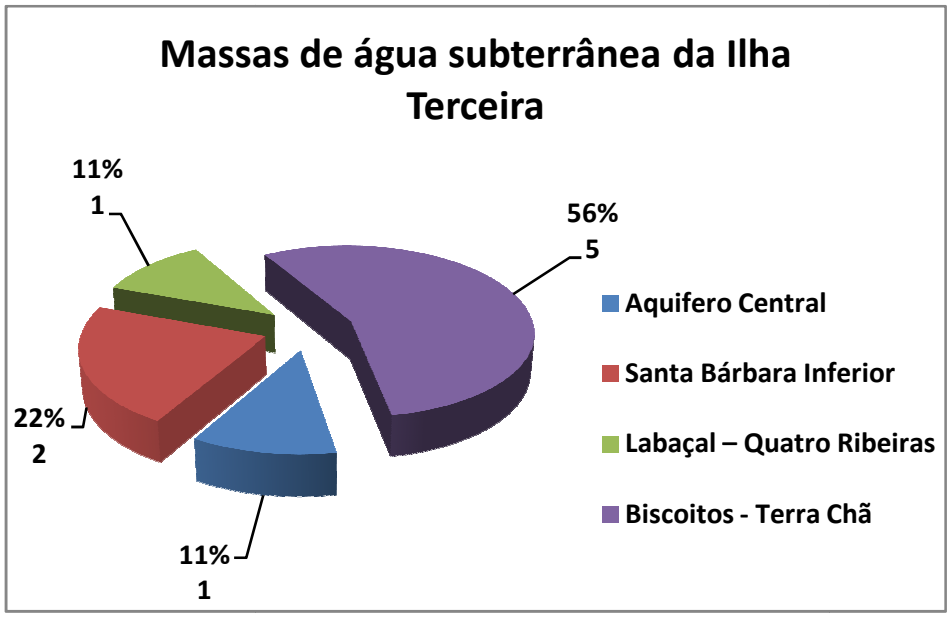


Figura 4.11 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Terceira.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha Terceira, dos nove pontos de água mineral referenciados, oito são nascentes (89%) e um é furo (11%) (Tabela 4.10 e Fig. 4.12).

Tabela 4.10 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Terceira	Nascente	8	89
	Fumarola	0	0
	Furo	1	11
	Poço	0	0
	Ilha Terceira	**9**	**100**

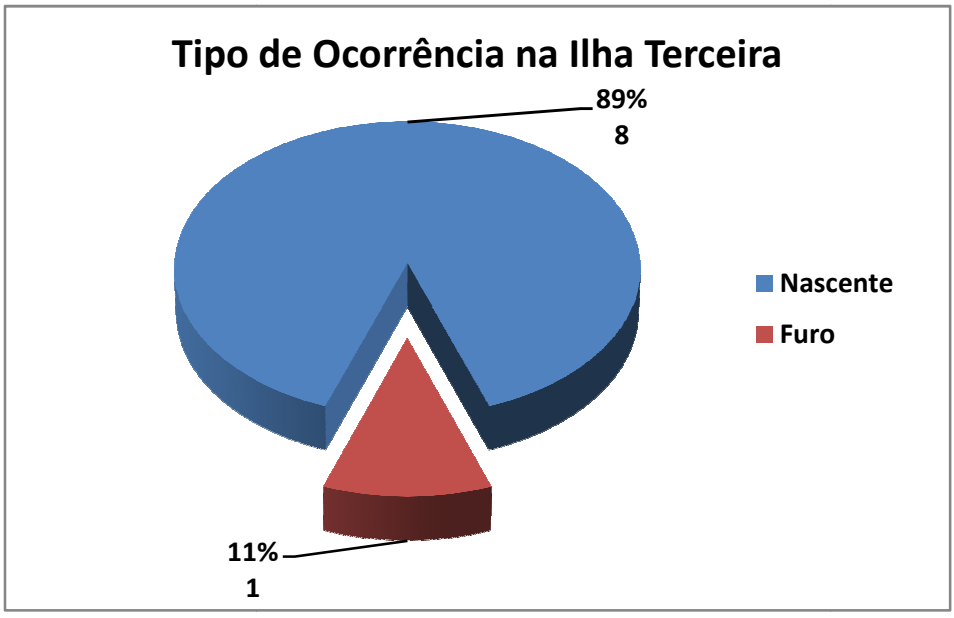


Figura 4.12 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que os nove pontos de água mineral (100%) emergem nos aquíferos basais, não existindo nenhum ponto de água mineral em aquíferos de altitude (Tabela 4.11 e Figura 4.13).

Tabela 4.11 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Terceira	Altitude	0	0
	Base	9	100
	Ilha Terceira	**9**	**100**

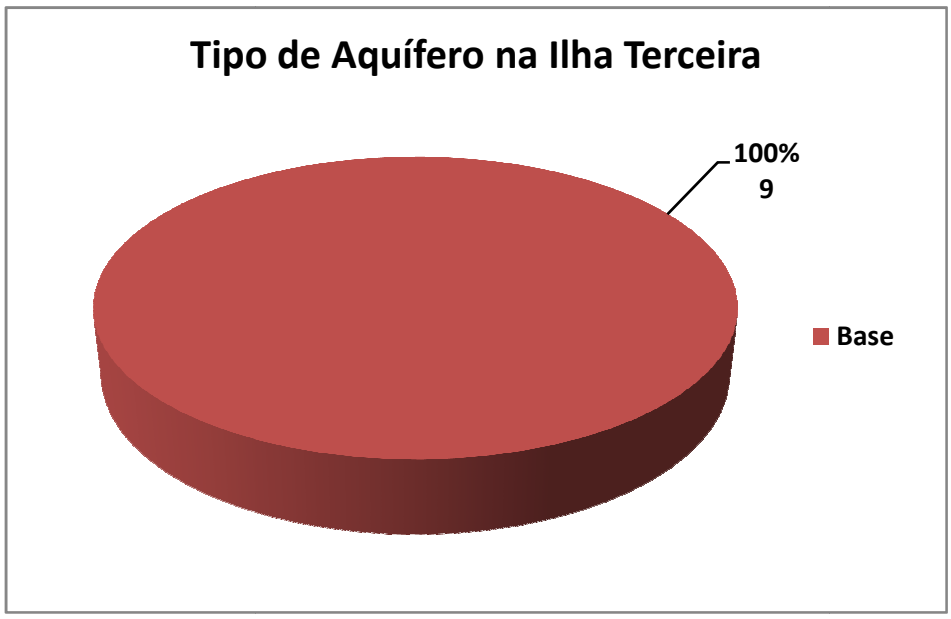


Figura 4.13 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Terceira segundo o tipo de aquífero.

4.4 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA GRACIOSA

4.4.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha Graciosa foram inventariados nove pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por um concelho, nomeadamente, Santa Cruz da Graciosa. Esta informação está compilada na tabela 4.12 e figura 4.14, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.12 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Santa Cruz da Graciosa	Guadalupe	2	22,2
	Luz	7	77,8
Total Santa Cruz da Graciosa		**9**	**100**
Total da Graciosa		**9**	**100**

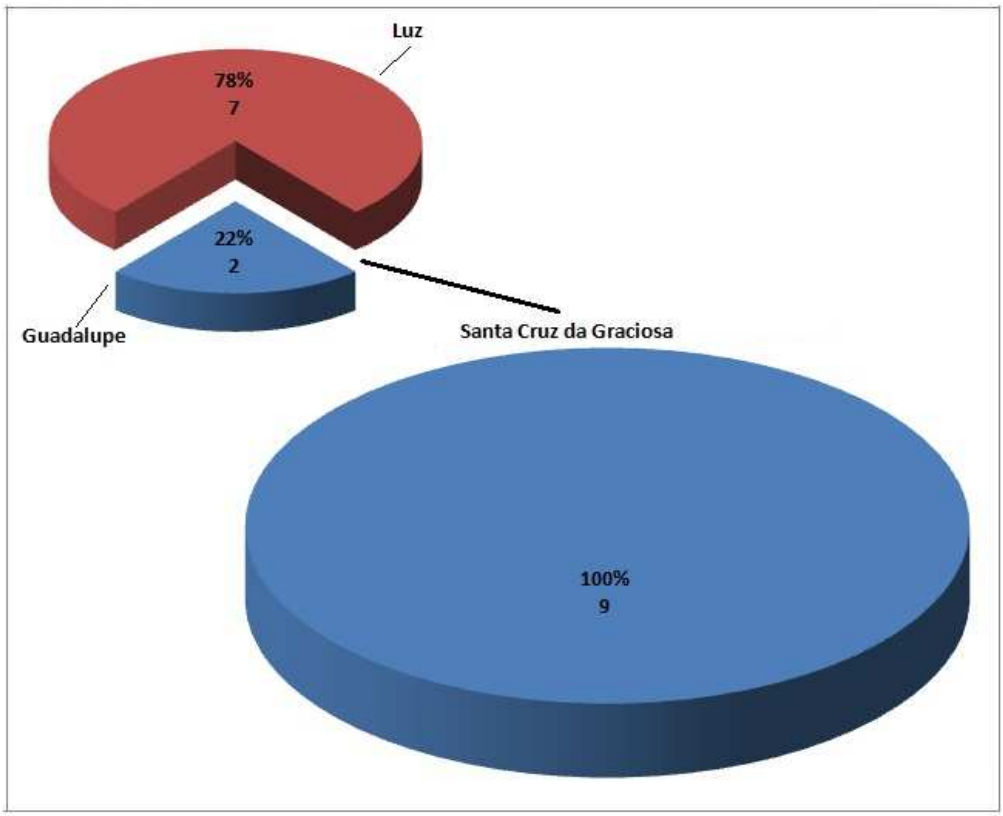


Figura 4.14 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa por concelho e freguesia.

4.4.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha Graciosa distribuem-se por dois complexos vulcânicos (Anexo A-II): sete no Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central (78%) e dois no Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade de Vitória (22%) (Tabela 4.13 e Figura 4.15).

Tabela 4.13 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Graciosa	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	7	78
	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade de Vitória	2	22
	Ilha da Graciosa	**9**	**100**

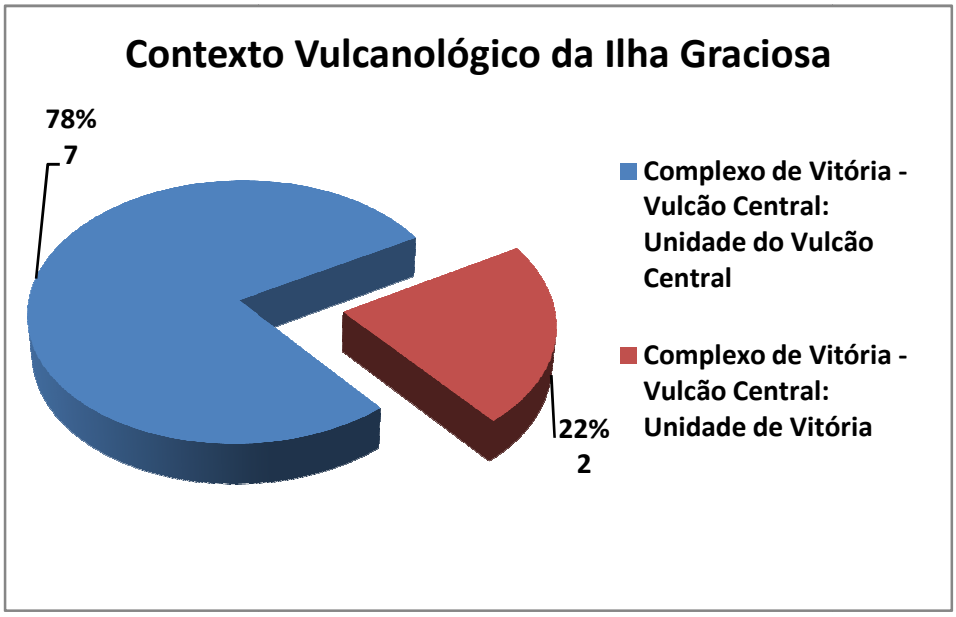


Figura 4.15 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo os complexos vulcânicos.

4.4.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral da Graciosa distribuem-se por duas das nove massas de água subterrânea (Figura 4.16) existentes na ilha (Anexo A-III): Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe e Compósito.

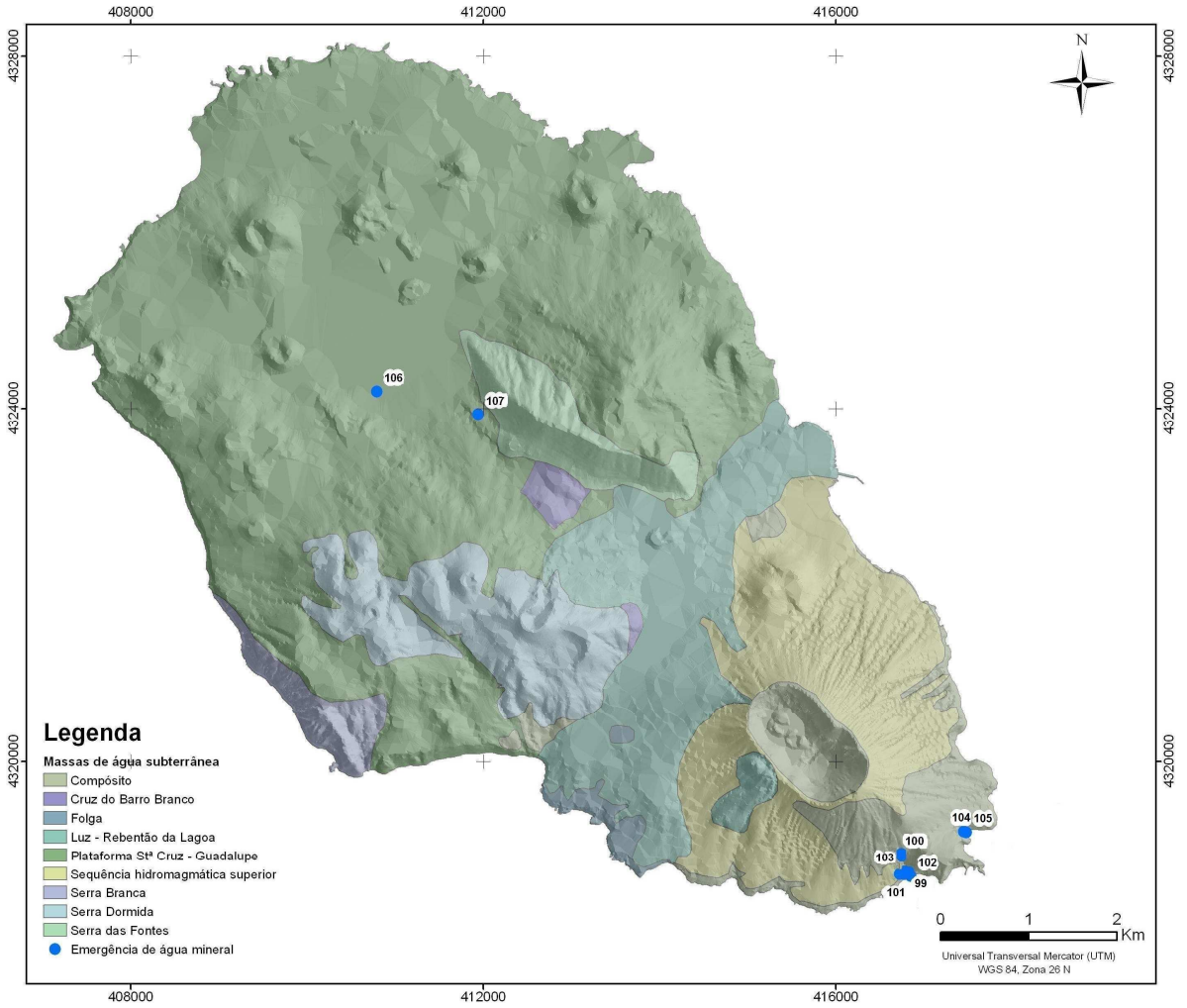


Figura 4.16 | Massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Tabela 4.14 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Graciosa	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	22
	Compósito	7	78
	Ilha da Graciosa	**9**	**100**

Na massa de água subterrânea Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe existem dois pontos de água mineral (22 %) e na massa de água subterrânea do Compósito ocorrem sete (78%) (Tabela 4.14 e Figura 4.17).

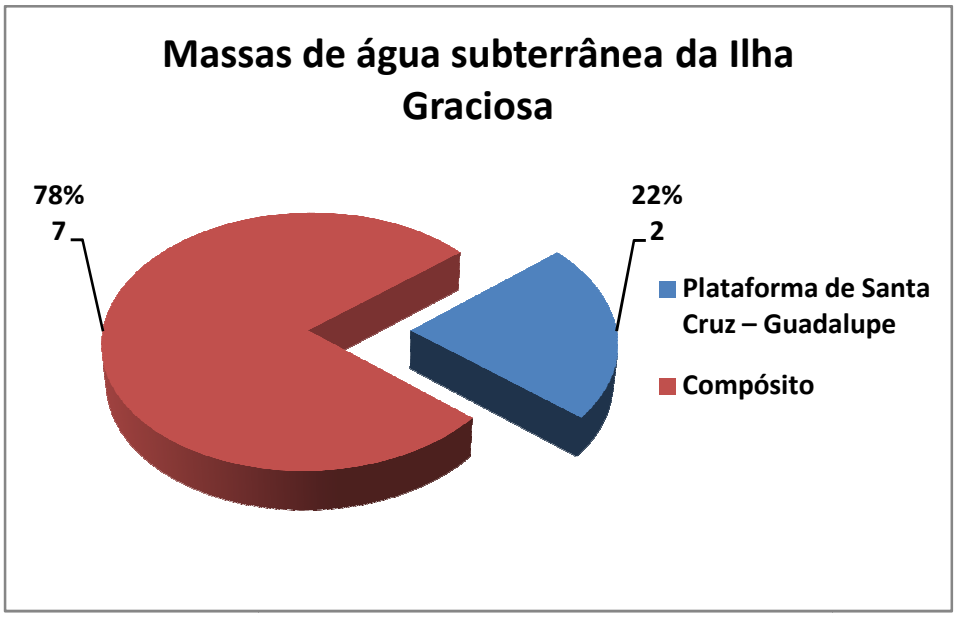


Figura 4.17 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha Graciosa.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha Graciosa, dos nove pontos de água mineral referenciados, três são nascentes (33%) e seis são furos (67%) (Tabela 4.15 e Figura 4.18).

Tabela 4.15 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Graciosa	Nascente	3	33
	Fumarola	0	0
	Furo	6	67
	Poço	0	0
	Ilha da Graciosa	**9**	**100**

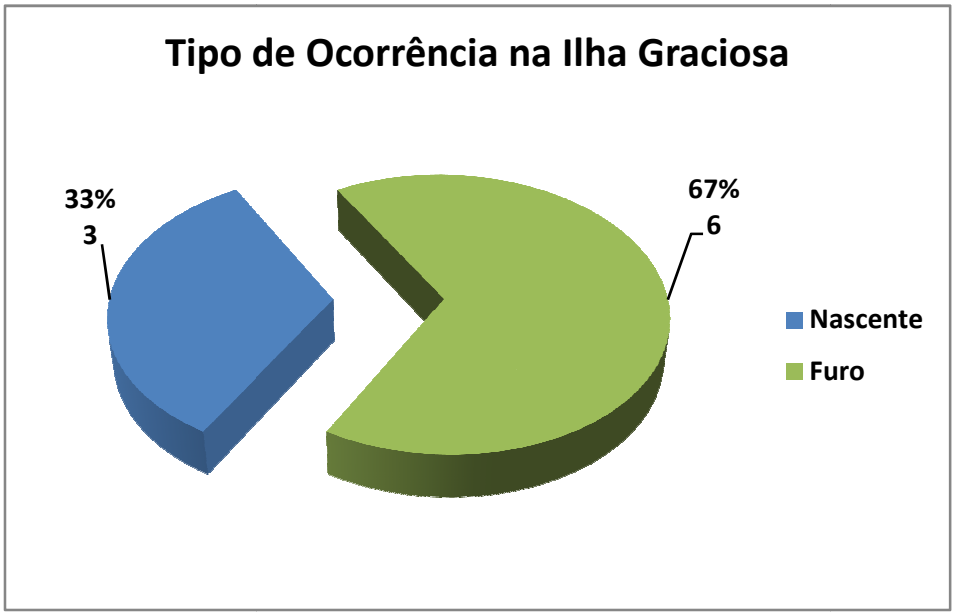


Figura 4.18 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que os nove pontos de água mineral (100%) emergem nos aquíferos basais, não existindo nenhum ponto de água mineral em aquíferos de altitude (Tabela 4.16 e Figura 4.19).

Tabela 4.16 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Graciosa	Altitude	0	0
	Base	9	100
	Ilha da Graciosa	**9**	**100**

Figura 4.19 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha Graciosa segundo o tipo de aquífero.

4.5 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DO FAIAL

4.5.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha do Faial foram inventariados três pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por um único concelho, nomeadamente, o concelho da Horta. Esta informação está compilada na tabela 4.17 e figura 4.20, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.17 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Horta	Capelo	2	66,7
	Praia do Norte	1	33,3
Total Horta		**3**	**100**
Total do Faial		**3**	**100**

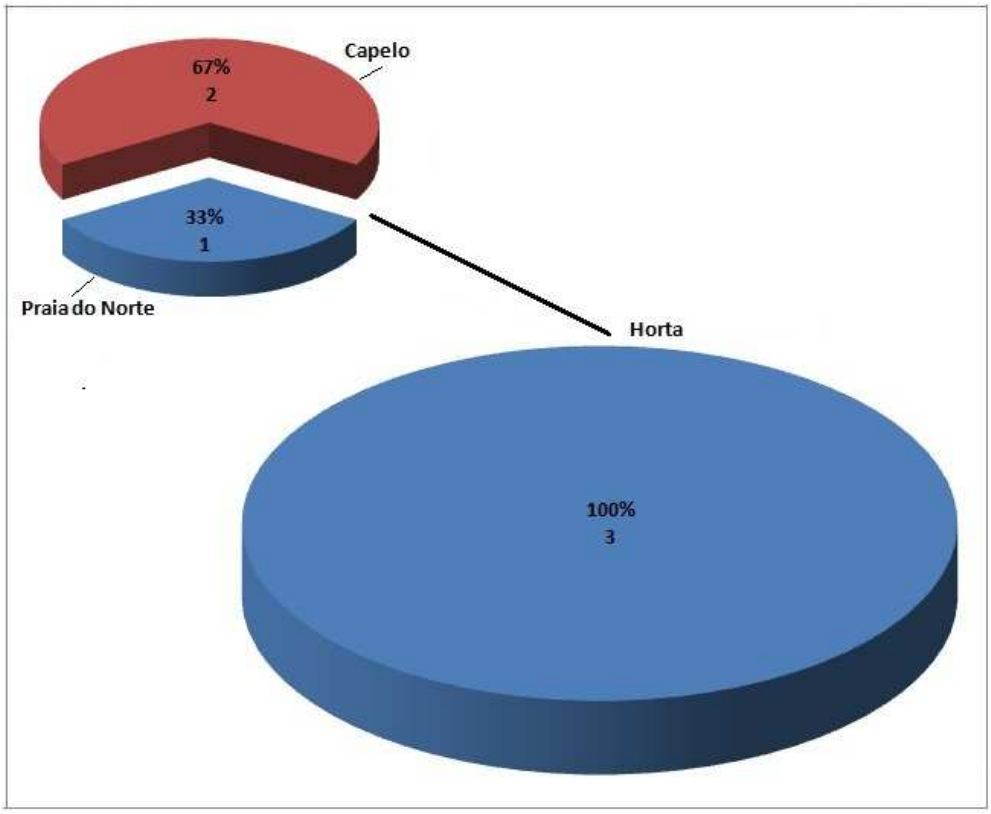


Figura 4.20 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial por concelho e freguesia.

4.5.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha do Faial distribuem-se por dois complexos vulcânicos (Anexo A-II): dois no Complexo Vulcânico do Capelo (67%), e um no Complexo Vulcânico dos Cedros (33%) (Tabela 4.18 e Figura 4.21).

Tabela 4.18 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Faial	Complexo Vulcânico do Capelo	2	67
	Complexo Vulcânico dos Cedros	1	33
	Ilha do Faial	**3**	**100**

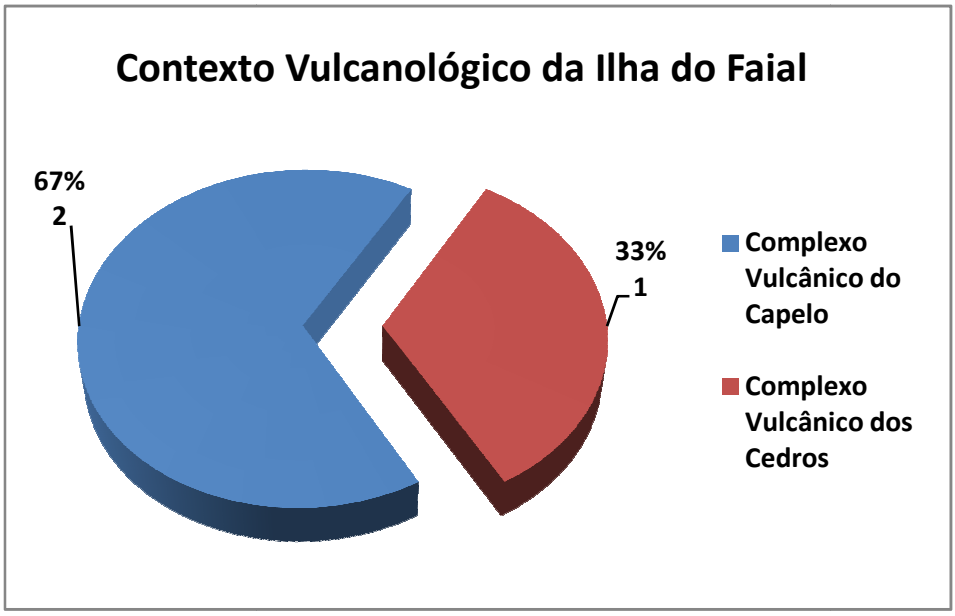


Figura 4.21 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo os complexos vulcânicos.

4.5.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral do Faial distribuem-se por duas das oito massas de água subterrânea (Figura 4.22) existentes na ilha (Anexo A-III): Cedros - Castelo Branco e Capelo.

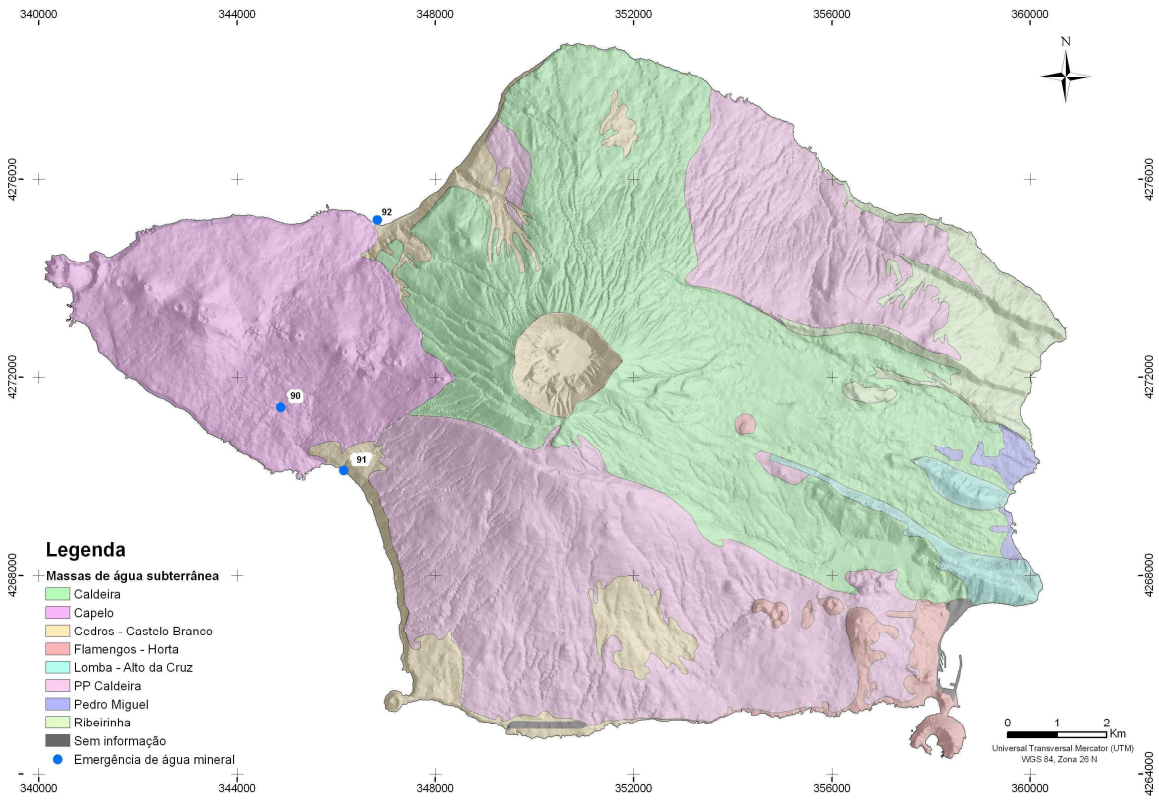


Figura 4.22 | Massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Tabela 4.19 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Faial	Cedros - Castelo Branco	2	67
	Capelo	1	33
	Ilha do Faial	**3**	**100**

Na massa de água subterrânea Cedros - Castelo Branco existem dois pontos de água mineral (67%) e na massa de água subterrânea do Capelo, apenas um (33%) (Tabela 4.19 e Figura 4.23).

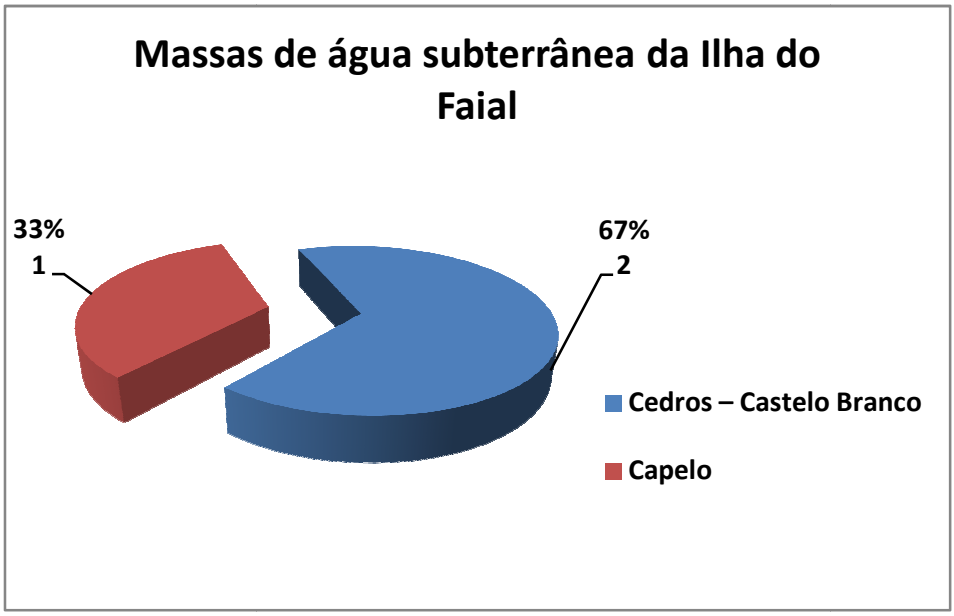


Figura 4.23 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Faial.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha do Faial, dos três pontos de água mineral referenciados, um é de nascente (33%) e dois são furos (67) (Tabela 4.20 e Figura 4.24).

Tabela 4.20 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Faial	Nascente	1	33
	Fumarola	0	0
	Furo	2	67
	Poço	0	0
	Ilha do Faial	**3**	**100**

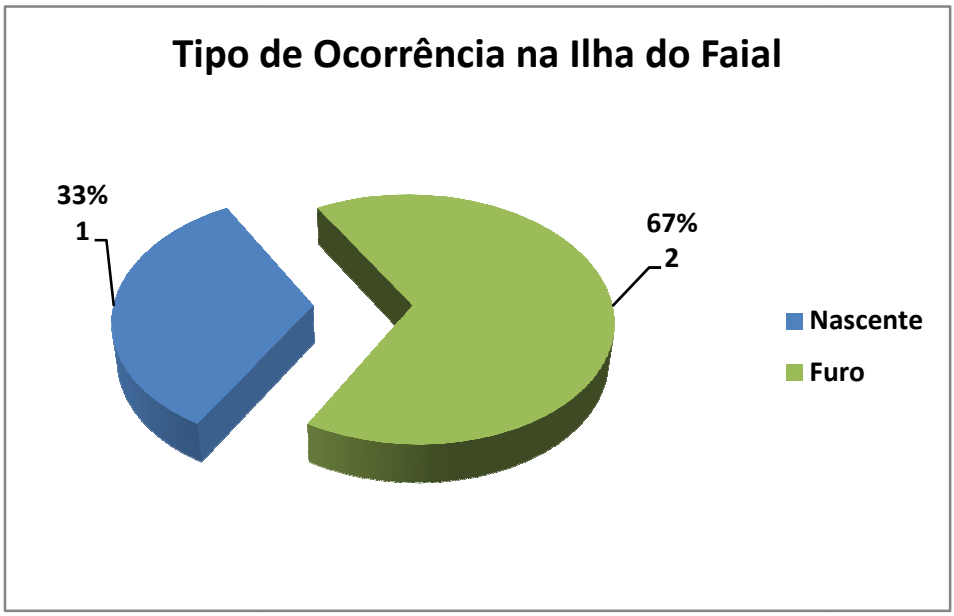


Figura 4.24 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que os três pontos de água mineral (100%) emergem nos aquíferos basais, não existindo nenhum ponto de água mineral em aquíferos de altitude (Tabela 4.21 e Figura 4.25).

Tabela 4.21 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Faial	Altitude	0	0
	Base	3	100
	Ilha do Faial	**3**	**100**

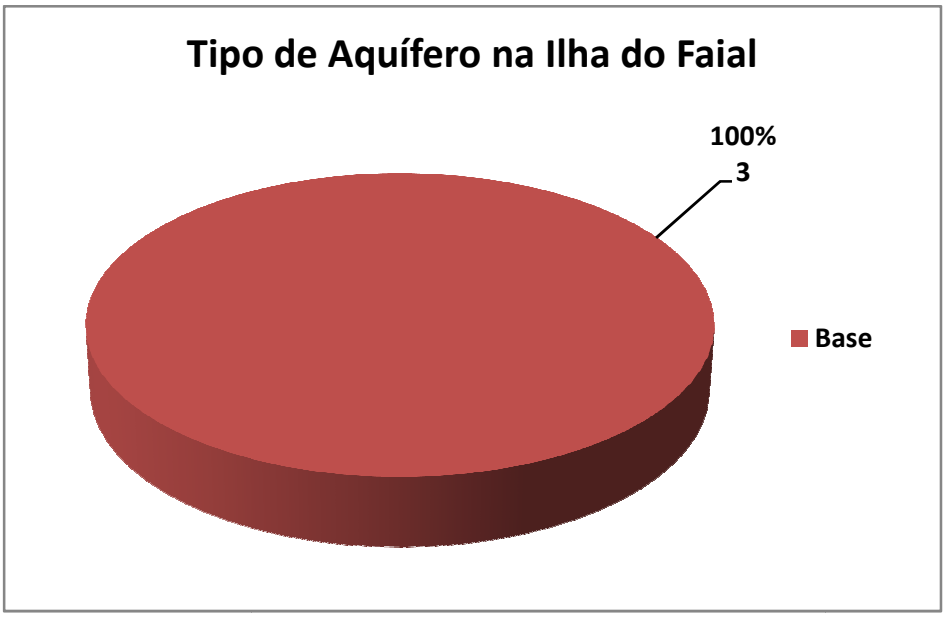


Figura 4.25 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Faial segundo o tipo de aquífero.

4.6 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DE SÃO JORGE

4.6.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha de São Jorge foram inventariados seis pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por um concelho, nomeadamente, o concelho da Calheta. Esta informação está compilada na tabela 4.22 e figura 4.26, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.22 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Calheta	Ribeira Seca	2	33,3
	Santo Antão	4	66,7
Total Calheta		**6**	**100**
Total de São Jorge		**6**	**100**

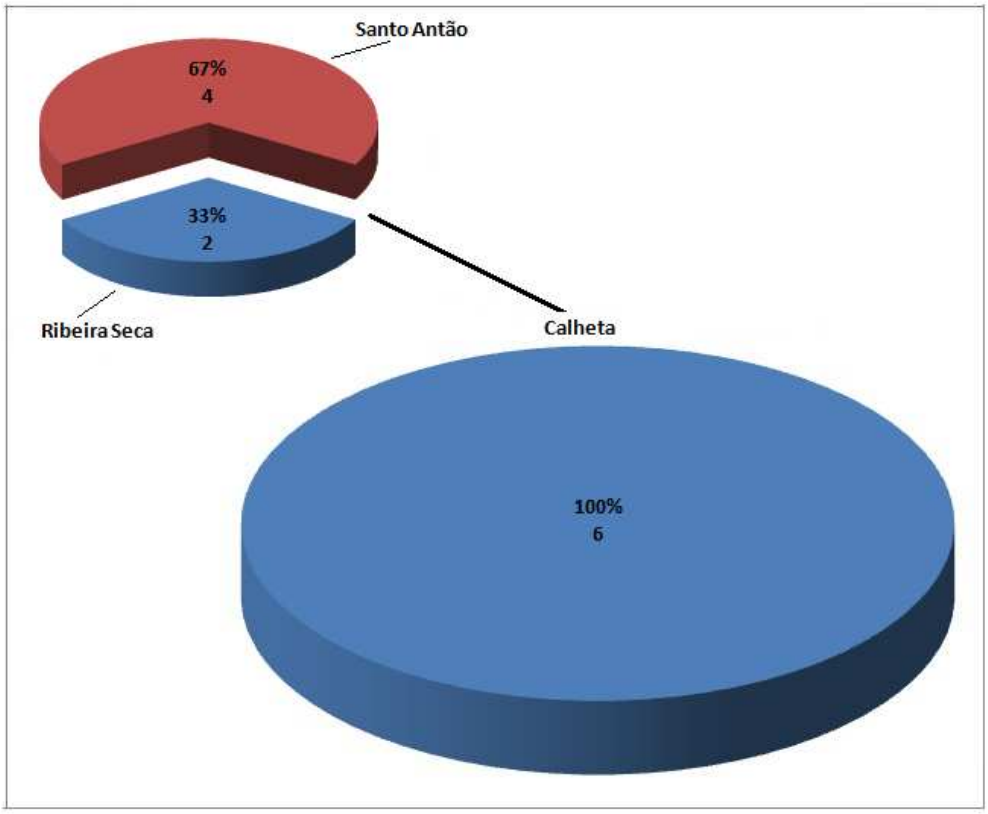


Figura 4.26 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge por concelho e freguesia.

4.6.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha de São Jorge distribuem-se por dois complexos vulcânicos (Anexo A-II): cinco no Complexo Vulcânico do Topo (83%) e um no Complexo Vulcânico de Manadas (17%) (Tabela 4.23 e Figura 4.27).

Tabela 4.23 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Jorge	Complexo Vulcânico do Topo	5	83
	Complexo Vulcânico de Manadas	1	17
	Ilha de São Jorge	**6**	**100**

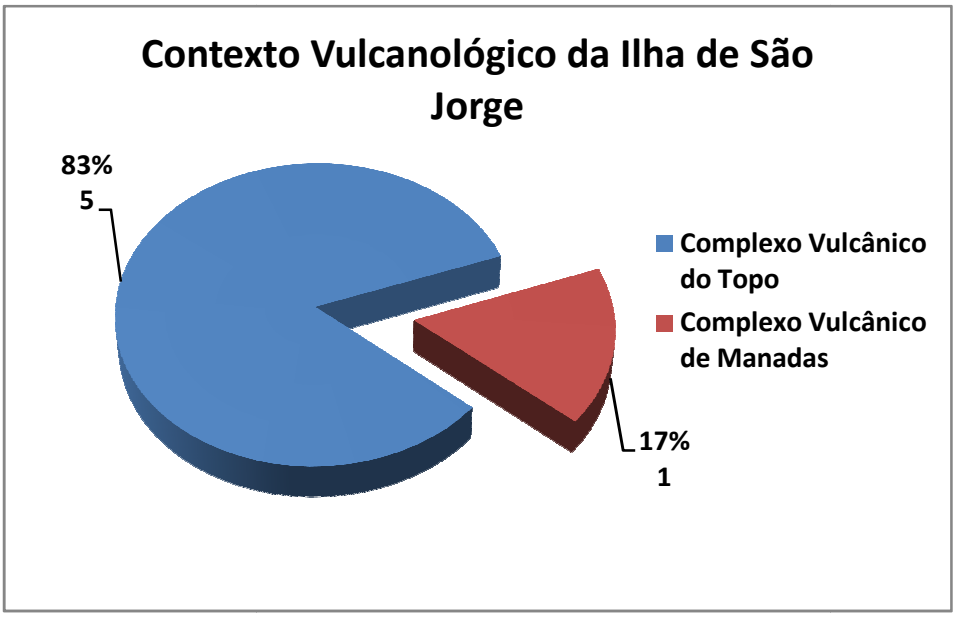


Figura 4.27 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo os complexos vulcânicos.

4.6.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral de São Jorge distribuem-se por uma das três massas de água subterrânea (Figura 4.28) existentes na ilha (Anexo A-III): a Oriental.

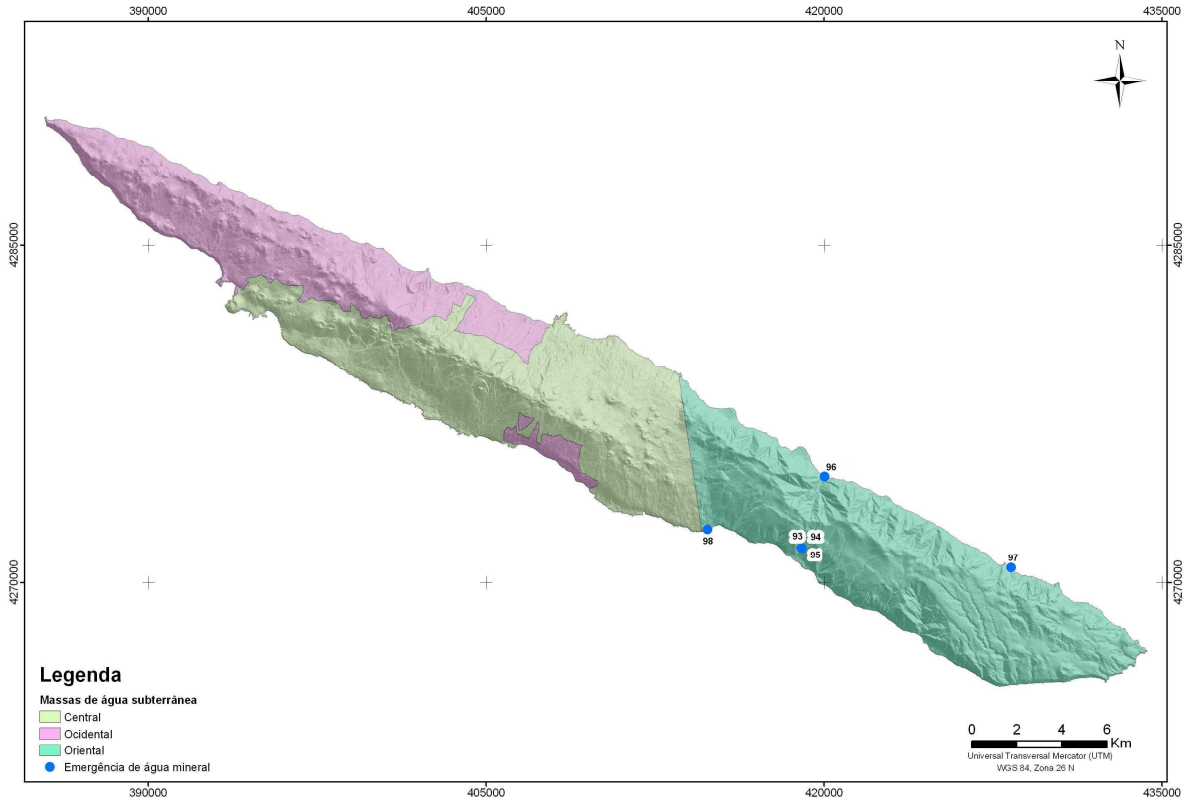


Figura 4.28 | Massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Tabela 4.24 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Jorge	Oriental	6	100
	Ilha de São Jorge	**6**	**100**

Na massa de água subterrânea Oriental encontram-se os seis pontos de água mineral (100%) (Tabela 4.24 e Figura 4.29).

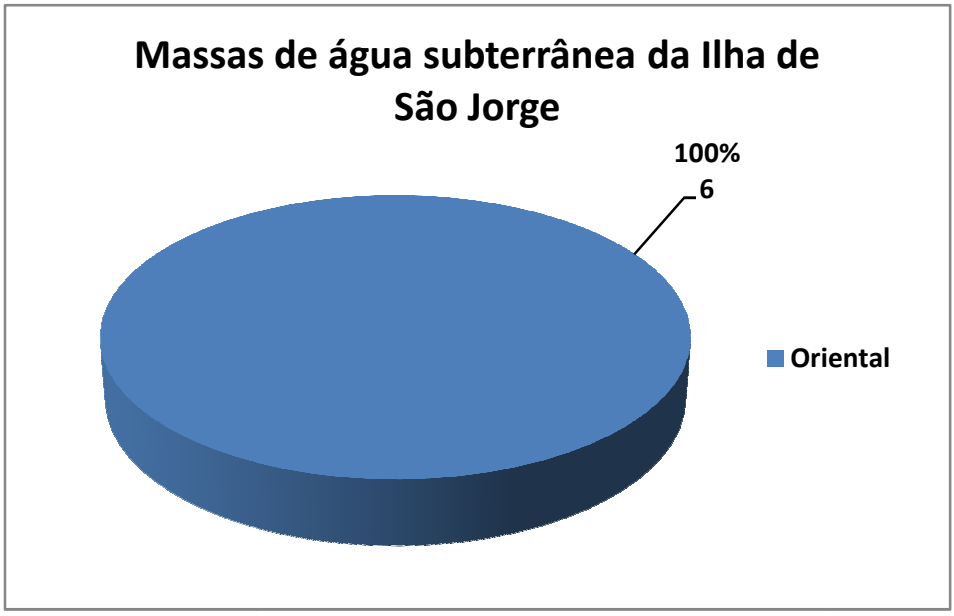


Figura 4.29 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha de São Jorge.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha de São Jorge, dos seis pontos de água mineral referenciados, todos são nascentes (100%) (Tabela 4.25 e Figura 4.30).

Tabela 4.25 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Jorge	Nascente	6	100
	Fumarola	0	0
	Furo	0	0
	Poço	0	0
	Ilha de São Jorge	**6**	**100**

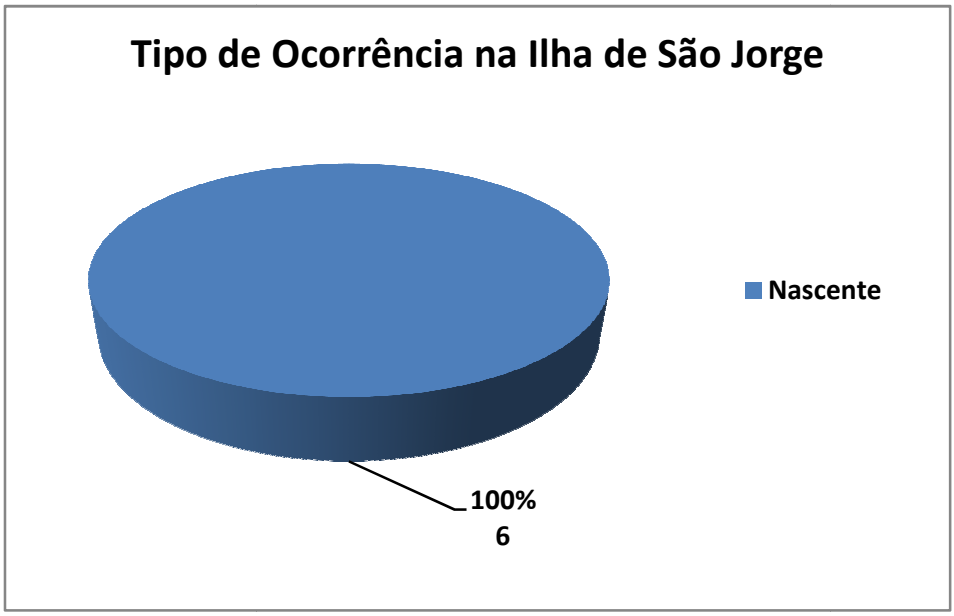


Figura 4.30 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que quatro pontos de água mineral (67%) emergem nos aquíferos basais e dois (84%) são de altitude (Tabela 4.26 e Figura 4.31).

Tabela 4.26 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Jorge segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
São Jorge	Altitude	4	67
	Base	2	33
	Ilha de São Jorge	**6**	**100**

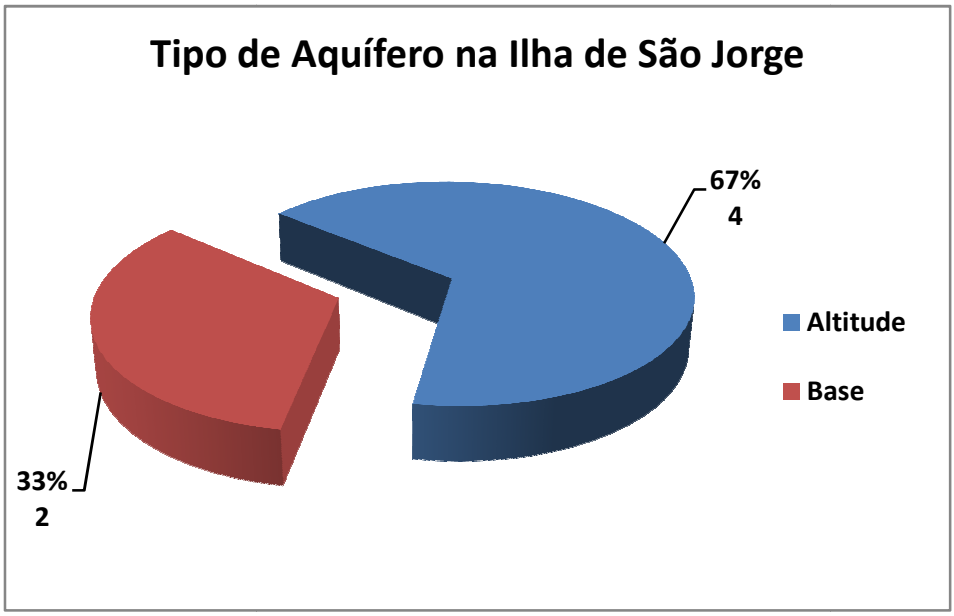


Figura 4.31 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha São Jorge segundo o tipo de aquífero.

4.7 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DO PICO

4.7.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha do Pico foram inventariados dois pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por dois concelhos, nomeadamente, Lajes do Pico e São Roque do Pico. Esta informação está compilada na tabela 4.27 e figura 4.32, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.27 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Lajes do Pico	Lajes do Pico	1	100
Total Lages do Pico		**1**	**50**
São Roque do Pico	Santo Amaro	1	100
Total São Roque do Pico		**1**	**50**
Total do Pico		**2**	**100**

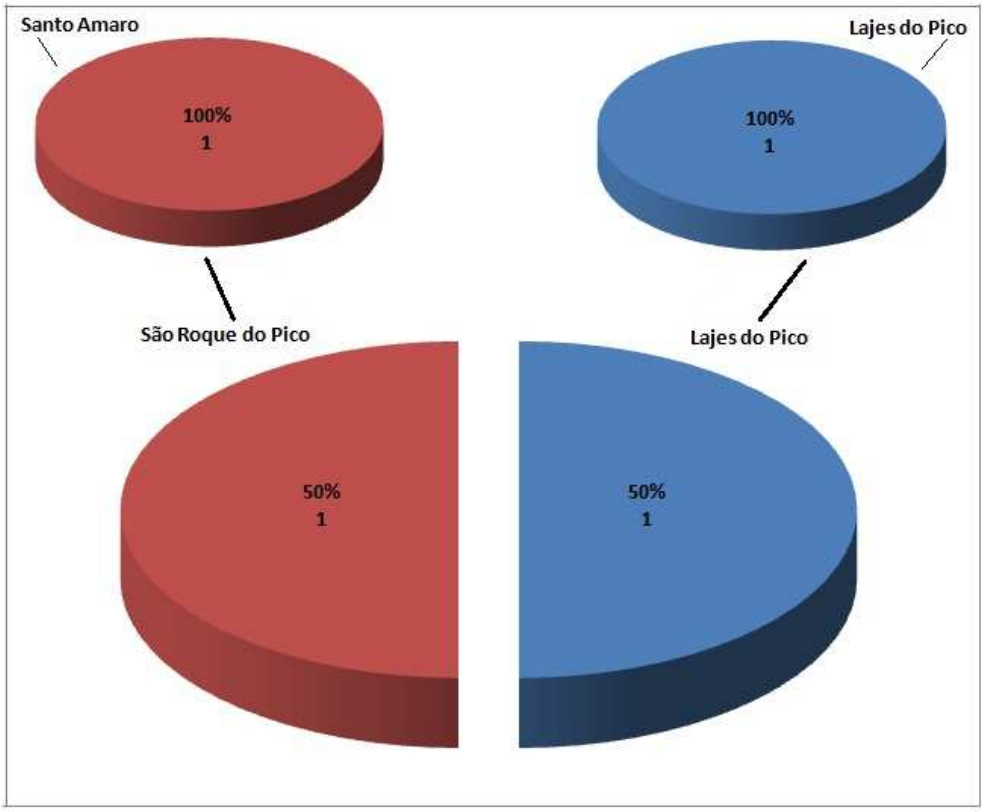


Figura 4.32 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico por concelho e freguesia.

4.7.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

A totalidade dos pontos de água mineral da ilha do Pico distribuem-se por um único complexo vulcânico (Anexo A-II): o Complexo Vulcânico São Roque - Piedade (100%) (Tabela 4.28 e Figura 4.33).

Tabela 4.28 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Pico	Complexo Vulcânico São Roque - Piedade	2	100
	Ilha do Pico	**2**	**100**

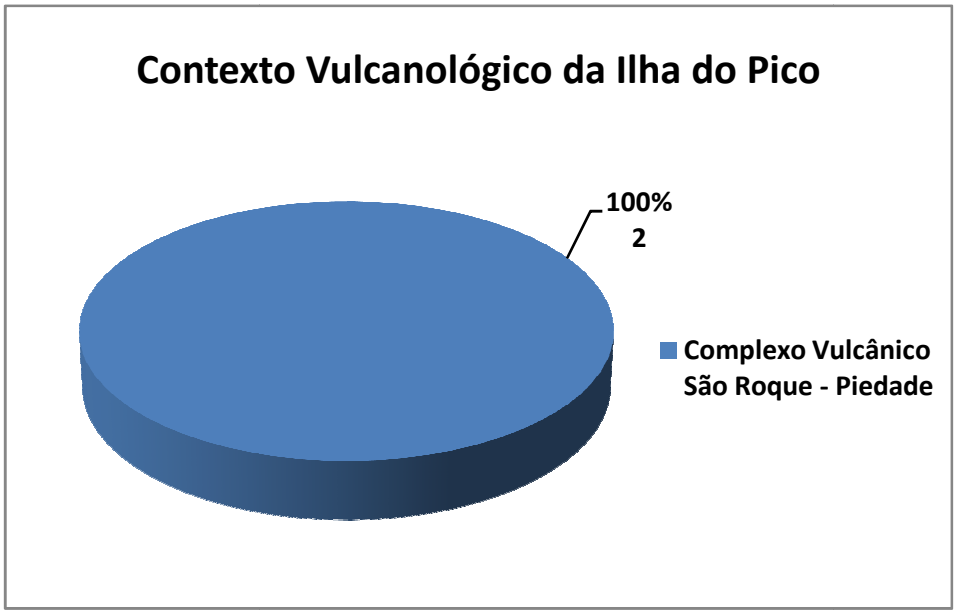


Figura 4.33 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo os complexos vulcânicos.

4.7.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral do Pico distribuem-se por uma das seis massas de água subterrânea (Figura 4.34) existentes na ilha (Anexo A-III): a Piedade.

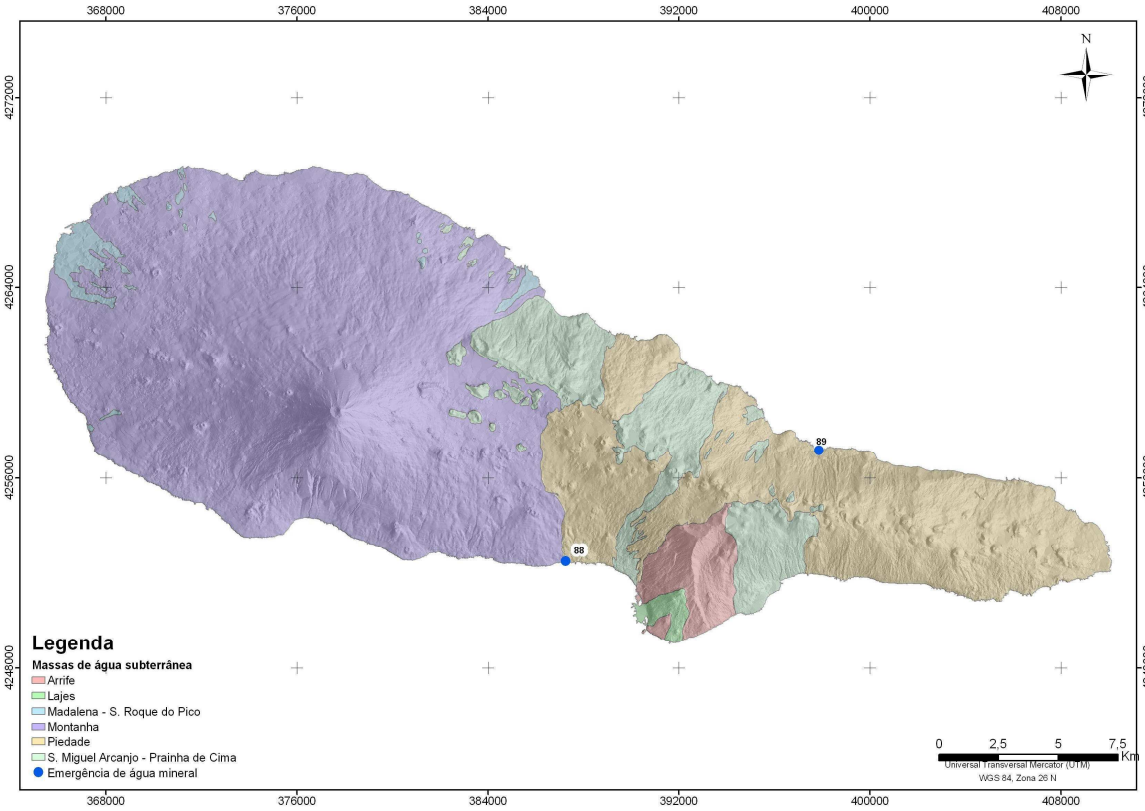


Figura 4.34 | Massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Tabela 4.29 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Pico	Piedade	2	100
	Ilha do Pico	**2**	**100**

Na massa de água subterrânea Piedade encontram-se os dois pontos de água mineral (100%) (Tabela 4.29 e Figura 4.35).

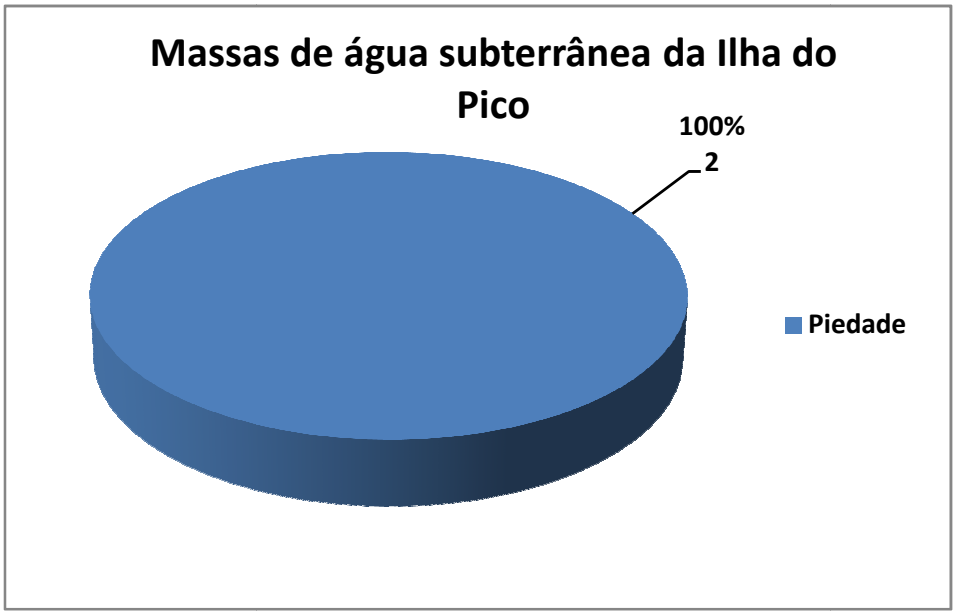


Figura 4.35 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha do Pico.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha do Pico, dos dois pontos de água mineral referenciados, um é de nascente (50%) e o outro corresponde a um poço de maré (50%) (Tabela 4.30 e Figura 4.36).

Tabela 4.30 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Pico	Nascente	1	50
	Fumarola	0	0
	Furo	0	0
	Poço	1	50
	Ilha do Pico	**2**	**100**

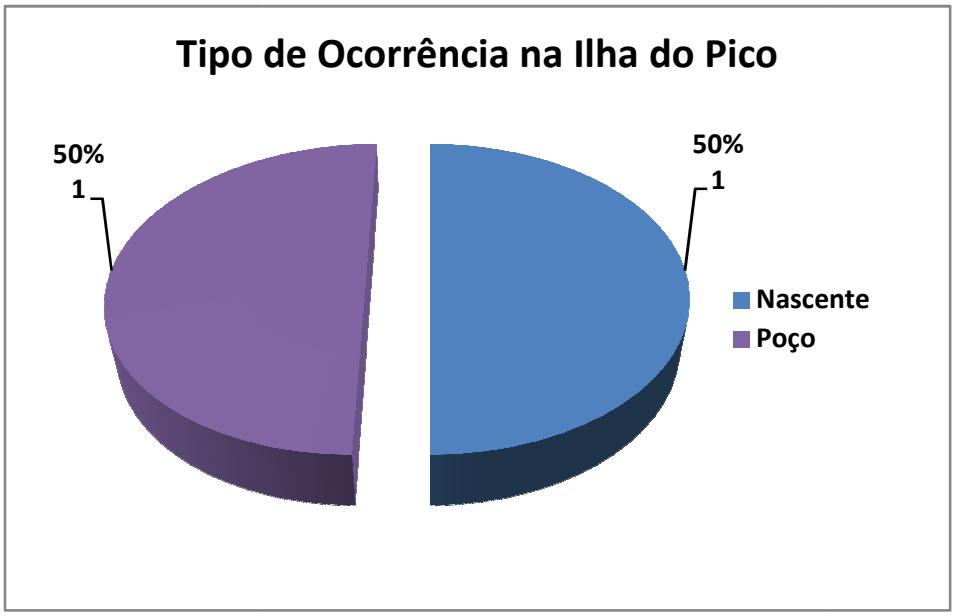


Figura 4.36 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que os dois pontos de água mineral (100%) emergem nos aquíferos basais não existindo nenhum ponto de água mineral em aquíferos de altitude (Tabela 4.31 e Figura 4.37).

Tabela 4.31 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Pico	Altitude	0	0
	Base	2	100
	Ilha do Pico	**2**	**100**

Figura 4.37 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha do Pico segundo o tipo de aquífero.

4.8 | ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DAS FLORES

4.8.1 | DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E ADMINISTRATIVA

Na ilha das Flores foram inventariados dois pontos de água mineral distribuindo-se geograficamente por dois concelhos, nomeadamente, Lajes das Flores e Santa Cruz das Flores. Esta informação está compilada na tabela 4.32 e figura 4.38, onde se indica o número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como a respectiva percentagem.

Tabela 4.32 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores por concelho e freguesia.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Lajes das Flores	Lajedo	1	100
Total Lajes das Flores		**1**	**50**
Santa Cruz das Flores	Santa Cruz das Flores	1	100
Total Santa Cruz das Flores		**1**	**50**
Total das Flores		**2**	**100**

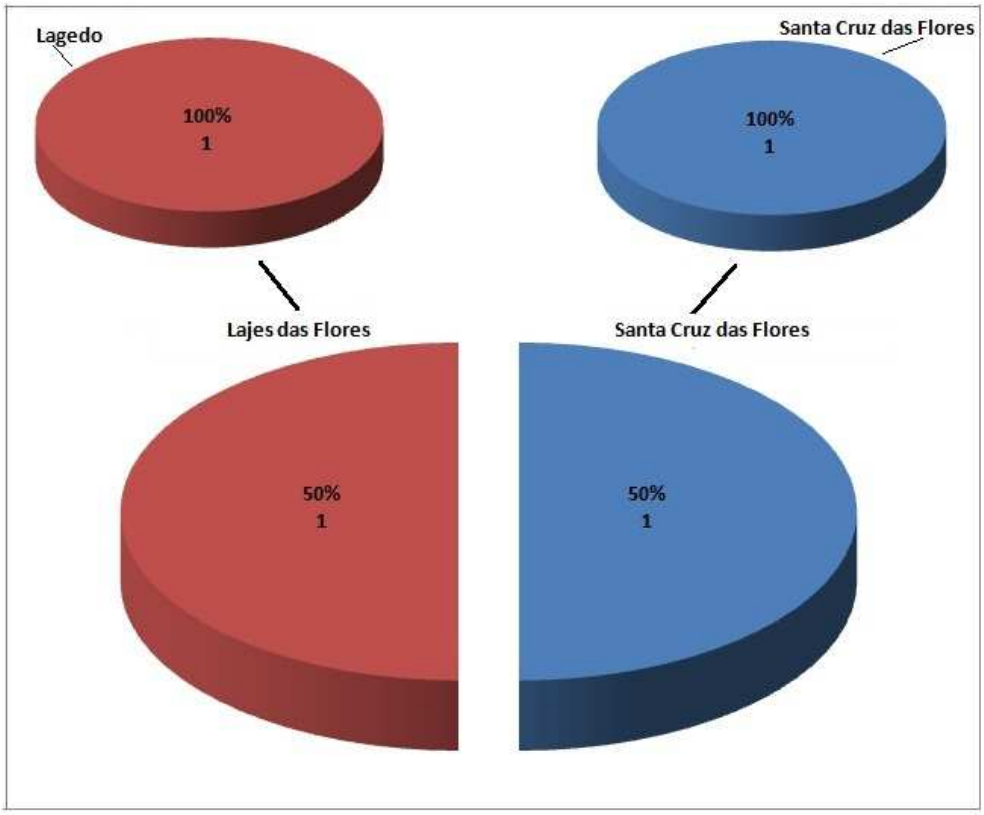


Figura 4.38 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores por concelho e freguesia.

4.8.2 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO VULCANOLÓGICO

Os pontos de água mineral da ilha das Flores distribuem-se por dois complexos vulcânicos (Anexo A-II): um no Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB1 (50%) e outro no Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB2 (50%) (Tabela 4.33 e Figura 4.39).

Tabela 4.33 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo os complexos vulcânicos.

Ilha	Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Flores	Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB1	1	50
	Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB2	1	50
	Ilha das Flores	**2**	**100**

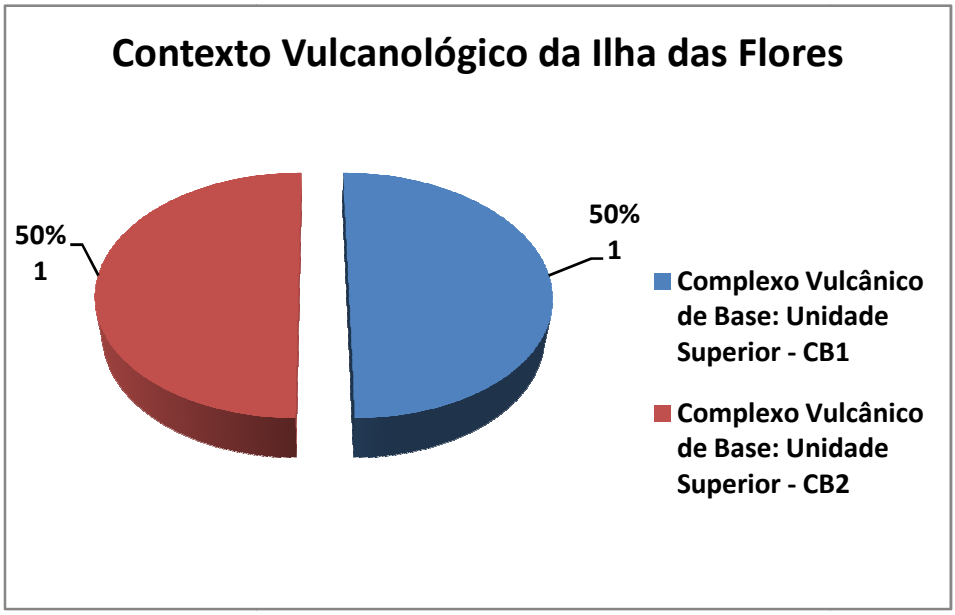


Figura 4.39 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo os complexos vulcânicos.

4.8.3 | DISTRIBUIÇÃO CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

Os pontos de água mineral das Flores distribuem-se por uma das três massas de água subterrânea (Figura 4.40) existentes na ilha (Anexo A-III): a Inferior.

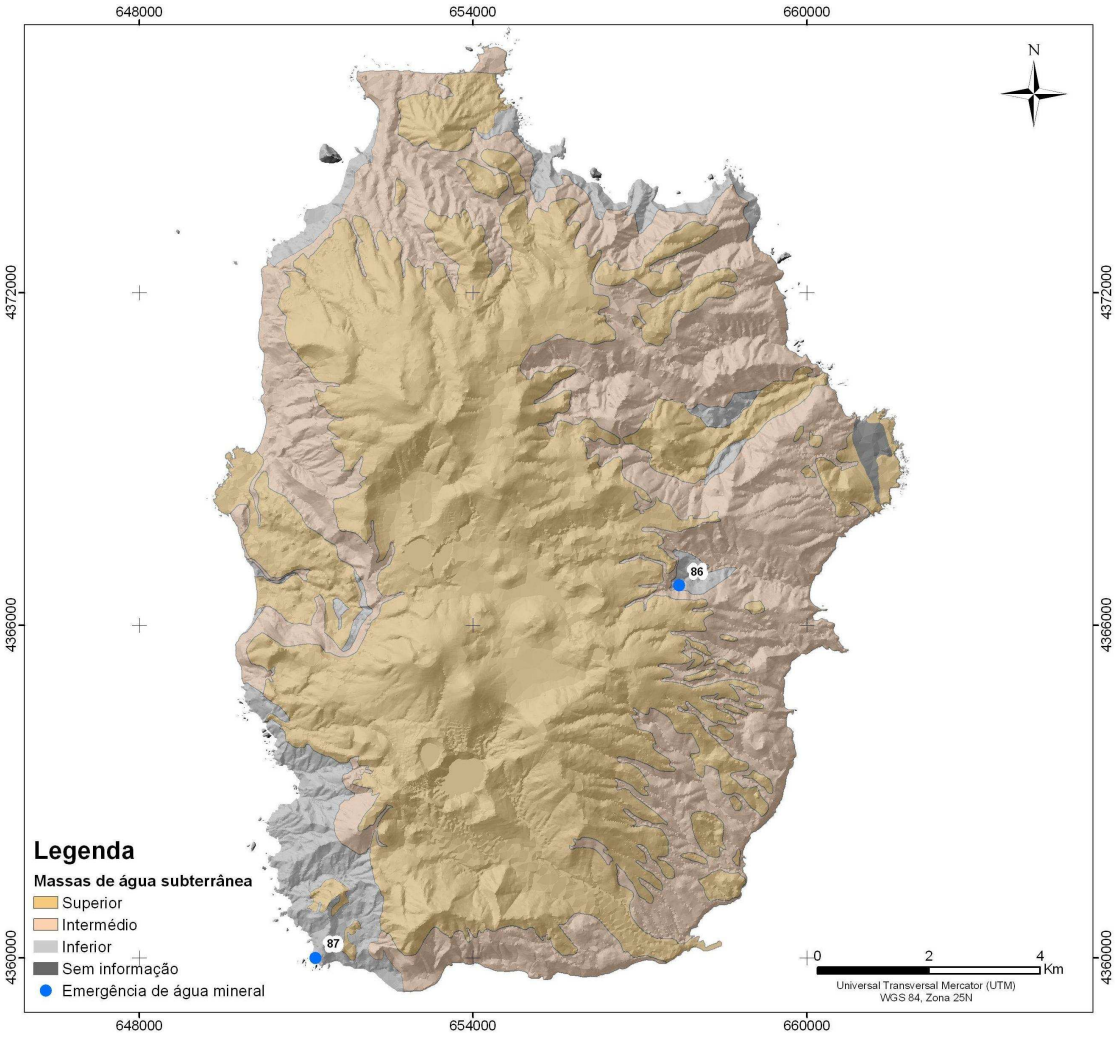


Figura 4.40 | Massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Tabela 4.34 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Ilha	Massas de Água Subterrânea	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Flores	Inferior	2	100
	Ilha das Flores	**2**	**100**

Na massa de água subterrânea Inferior existem os dois pontos de água mineral (100%) (Tabela 4.34 e Figura 4.41).

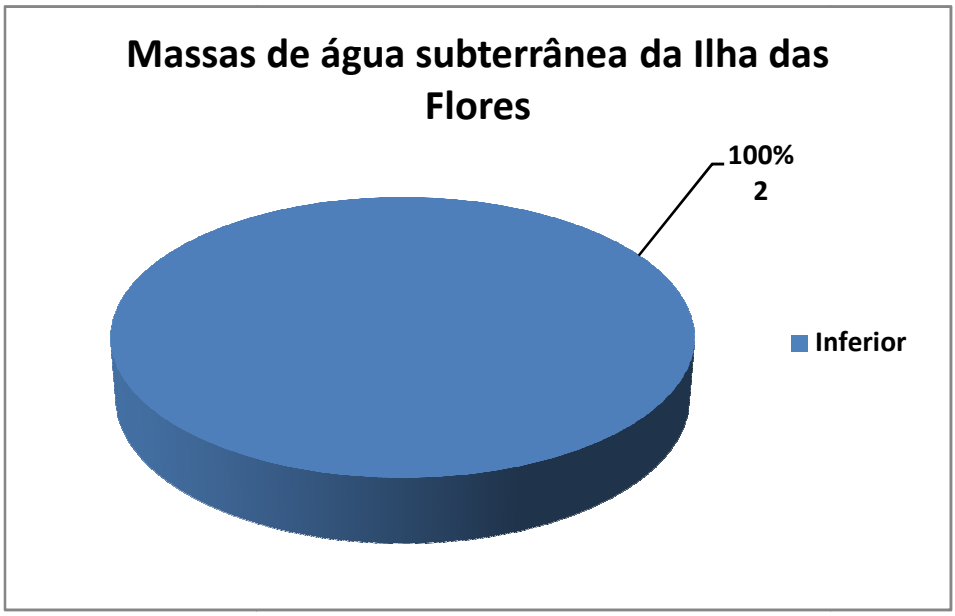


Figura 4.41 | Distribuição dos pontos de água mineral segundo as massas de água subterrânea da ilha das Flores.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo A-III), verifica-se que na ilha das Flores, dos dois pontos de água mineral referenciados, todos são nascentes (100%) (Tabela 4.35 e Figura 4.42).

Tabela 4.35 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de ocorrência.

Ilha	Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Flores	Nascente	2	100
	Fumarola	0	0
	Furo	0	0
	Poço	0	0
	Ilha das Flores	**2**	**100**

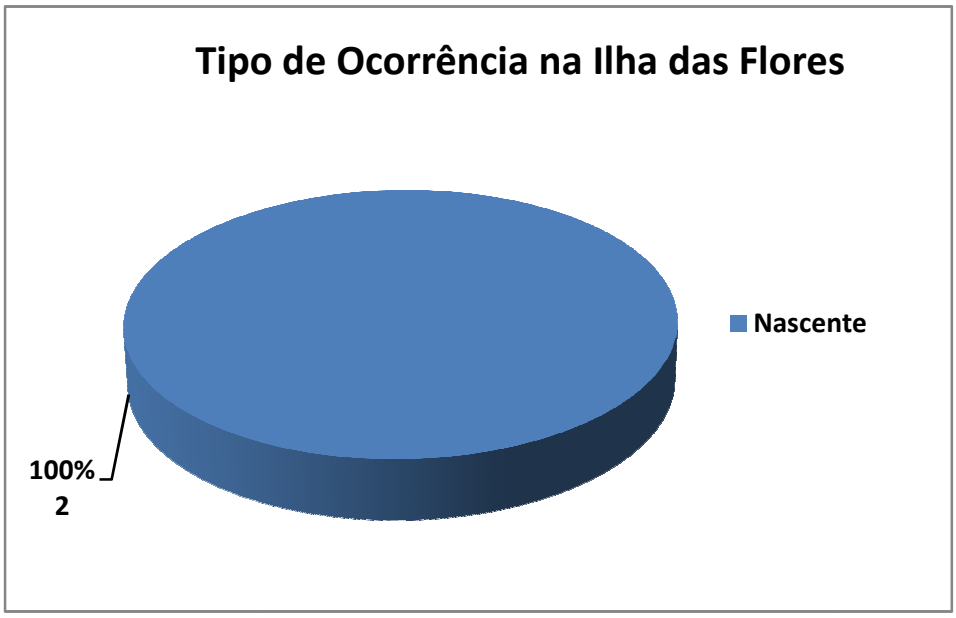


Figura 4.42 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que um ponto de água mineral (50%) emerge nos aquíferos basais e o outro (50%) em aquíferos de altitude (Tabela 4.36 e Figura 4.43).

Tabela 4.36 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de aquífero.

Ilha	Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Flores	Altitude	1	50
	Base	1	50
	Ilha das Flores	**2**	**100**

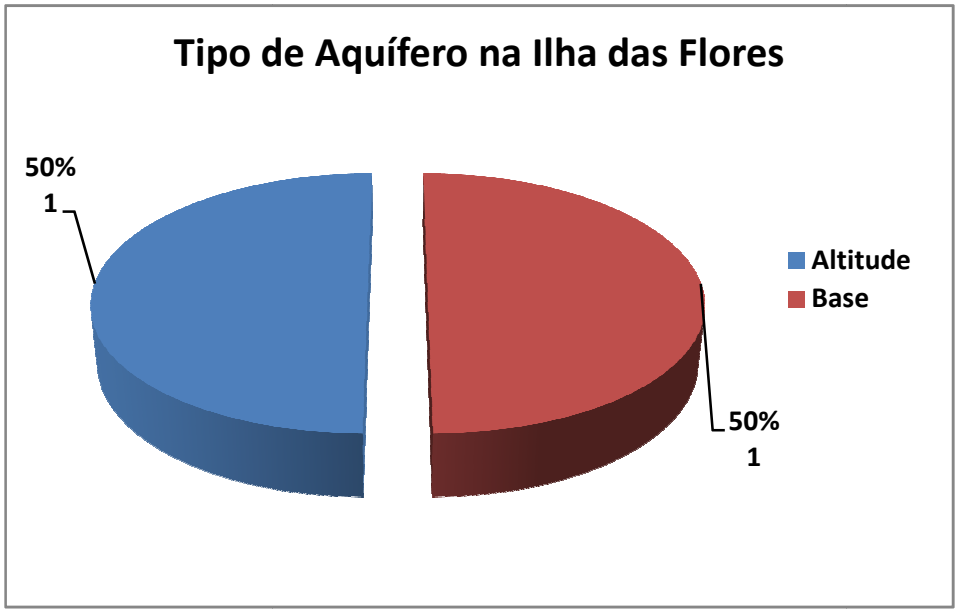


Figura 4.43 | Distribuição dos pontos de água mineral na ilha das Flores segundo o tipo de aquífero.

5 | METODOLOGIA DA CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

5.1 | INTRODUÇÃO

Neste trabalho foram inventariados e localizados 116 pontos de águas minerais no arquipélago dos Açores, mais 15 do que os anteriormente abrangidos no âmbito do Projecto Hydrovulc, 2004/2006, bem como 14 pontos de águas minerais localizados na Zona de Falha Penacova - Régua - Verin (Z.F.P.R.V.), assim designada por Batista (1998). Posteriormente validou-se a informação obtida com um levantamento de campo, realizado no período 2009/2010 que teve como objectivos confirmar a existência dos pontos de águas minerais e efectuar amostragens, no sentido de medir e analisar os parâmetros físico-químicos das águas *in situ* e posteriormente no laboratório. As amostragens compreenderam três campanhas na ilha de São Miguel (Julho de 2009, Fevereiro e Julho /Outubro de 2010); duas na ilha Terceira (Abril e Julho de 2010); duas na ilha Graciosa (Abril e Agosto de 2010); duas na ilha de São Jorge (Maio e Julho de 2010); duas na ilha do Pico (Abril e Julho de 2010); duas na ilha do Faial (Abril e Julho de 2010); uma na ilha das Flores (Julho de 2010); uma no vale Chaves-Verín (Outubro/Novembro de 2010), tendo sido integrados, em bases de dados, todos os dados coligidos.

5.2 | AMOSTRAGEM E MÉTODOS DE ANÁLISE

A determinação de alguns parâmetros físico-químicos, nomeadamente a temperatura, a condutividade eléctrica, o pH, o caudal, a concentração de CO_2 livre e a alcalinidade foi efectuada *in situ*.

A medição da temperatura, da condutividade eléctrica e do pH foi efectuada, imediatamente após a obtenção das amostras, tendo sido utilizados registadores digitais portáteis Testo 925, para a temperatura e WTW 340i para a condutividade e pH O caudal foi determinado usando recipientes de capacidade adequada e um cronómetro digital.

Para a análise da concentração de CO_2 livre e da alcalinidade foi utilizada a técnica da titulação volumétrica, recorrendo-se a uma multibureta para medição do volume de titulante adicionado e, simultaneamente, a um medidor de pH para verificar a variação deste parâmetro na amostra titulada. A adição do titulante foi feita gota a gota até o pH atingir o valor de equivalência, tendo sido registado o volume de titulante adicionado até esse momento, para calcular a concentração da espécie analisada.

Na determinação de CO_2 livre utilizou-se como titulante uma solução de NaOH de concentração 1/44 M que se adicionou gota a gota a 100 mL de amostra contida num gobelé, até o pH da amostra atingir o valor de 8,3, valor acima do qual não existe CO_2 livre; mediu-se então o volume (mL) de titulante consumido, sendo a concentração de CO_2 livre, expressa em mg/L, igual ao produto do volume (mL) de titulante gasto vezes 10.

Na determinação da alcalinidade utilizou-se um procedimento análogo ao usado para a determinação do CO_2 livre, tendo sido utilizado como titulante uma solução H_2SO_4 0,05 M, a qual foi adicionada gota a gota a 100 mL da amostra até se atingir um valor de pH igual a 4,45, no caso de se tratar de uma água fria (temperatura <25 ºC) e igual a 3,83 para águas quentes. A alcalinidade, expressa em mg/L de $CaCO_3$ é igual a 50 vezes o volume (mL) de titulante gasto.

Para águas de pH <8 a concentração de HCO_3^- (bicarbonato) é geralmente muito superior à concentração de CO_3^{2-} (carbonato), pelo que a concentração de HCO_3^- foi calculada, multiplicando o valor da alcalinidade, previamente determinado, pelo factor 1,22.

Para cada amostra a analisar no laboratório recolheu-se 1000 mL de água mineral em garrafa de polietileno. À chegada ao laboratório a água mineral foi filtrada a 0,45 µm com uma bomba de filtragem para dois recipientes, (1) e (2) de capacidades, respectivamente iguais a 100 mL e 250 mL.

O recipiente (1), contendo 100 mL de água mineral foi guardada em frigorífico para a determinação, em primeira mão, da concentração, em mg/L dos iões F^-, Cl^-, Br^-, NO_3^- e SO_4^{2-}, por cromatografia iónica, utilizando o aparelho Dyonex ICS-1000. O fundamento teórico da separação e doseamento dos iões separados, bem como a descrição e funcionamento do aparelho Dyonex ICS-1000 são desenvolvidos, respectivamente nos pontos 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.4 e no ponto 5.3.5; a utilização do Dyonex ICS-1000 na determinação prática da concentração dos iões supracitados está descrita no ponto 5.3.6 (modo de proceder).

A água mineral (250 mL), contida no recipiente (2), foi acidulada com 2 mL de HNO_3 65% e destinou-se à determinação da concentração em mg/L dos elementos Na, K, Mg, Ca e Si, por absorção atómica-método da chama, utilizando o aparelho GDC 906 AA. O fundamento teórico da espectroscopia por absorção atómica ou espectrofotometria de absorção atômica está plasmado no ponto 5.4.1; a descrição e funcionamento do aparelho GDC 906 AA, bem como as interferências que podem afectar a aplicação do método, a optimização das técnicas e a recta de calibração,

usada na análise quantitativa de cada um dos elementos supracitados, enformam, respectivamente os pontos 5.4.2, 5.4.3, 5.4.4 e 5.4.5. O modo de proceder na determinação da concentração dos elementos Na, K, Mg, Ca e Si, usando o aparelho GDC 906 AA é desenvolvido no ponto 5.4.6.

Finalmente uma fracção de 50 mL da água mineral recolhida foi filtrada a 0,10 µm, acidificada com 1 mL de HNO_3 65% e enviada para Activation Laboratories Ld (Canadá), a fim de serem analisados os elementos menores e em traço, por espectrometria de massa com fonte iónica de plasma (ICP/MS).

5.3 | CROMATOGRAFIA IÓNICA

5.3.1 | INTRODUÇÃO

A expressão "cromatografia iónica" é um método de separação de iões que utiliza, fundamentalmente, um permutador de iões e uma solução de eluente (eluente), onde se movem os iões a separar; os sistemas tecnológicos que operam esta separação englobam também um detector dos iões separados e um colector analítico de dados, contendo ainda uma unidade supressora (supressor) no caso de o detector ser condutimétrico (Gjerde & Fritz, 1987).

Em cromatografia iónica a separação dos diferentes iões que constituem uma amostra deve-se a uma migração diferencial numa coluna permutadora de iões ou membrana impregnada com um ião permutador. A amostra de iões desce, ou é eluída com uma solução eluente, na coluna permutadora, devido à competição entre os iões do eluente e os iões da amostra, na reacção com os grupos funcionais dos iões permutadores. A afinidade de cada ião da amostra relativamente ao ião permutador é única, o que explica a separação dos diferentes iões existentes na solução.

5.3.2 | RESINAS PERMUTADORAS

As permutas de iões são realizadas em colunas que contêm uma resina permutadora de catião ou uma resina permutadora de anião. O permutador de catiões é um polímero orgânico que contém grupos funcionais de ácido sulfónico, ligados por anéis benzénicos ao polímero, enquanto o permutador de aniões é um polímero orgânico que contém grupos funcionais de amónio quaternário, ligados por anéis benzénicos ao polímero (Gjerde & Fritz, 1987).

As equações químicas a) e b) representam esquematicamente os dois tipos de resinas e o respectivo mecanismo de permuta.

a) Resina permutadora de catiões

$$Res\text{-}C_6H_4\text{-}SO_3\text{-}H^+ + Na^+ \leftrightarrow Res\text{-}C_6H_4\text{-}SO_3\text{-}Na^+ + H^+$$

O grupo aniónico sulfónio – SO_3^- está ligado à resina e portanto não se move; contudo o ião de sinal contrário H^+ é livre e pode ser trocado por outro catião, neste caso Na^+.

b) Resina permutadora de aniões

$$Res\text{-}C_6H_4\text{-}CH_2\text{-}N(CH_3)+Cl^- + A^- \leftrightarrow Res\text{-}C_6H_4\text{-}CH_2\text{-}N(CH_3)+A^- + Cl^-$$

O grupo ião amónio quaternário está ligado à resina e portanto não se move; contudo o ião Cl^- é móvel e pode ser trocado por outro anião, A^-.

As resinas permutadoras apropriadas para o enchimento de colunas são constituídas por polímeros orgânicos esféricos ou por pequenas esferas de sílica porosa, revestidas por material permutador. A capacidade de uma resina permutadora é um parâmetro muito importante em cromatografia iónica e define-se como a quantidade, em miliequivalentes (meq) de ião permutável, por grama (ou mL) de resina. As reacções de troca de iões são reversíveis, logo o comportamento de uma troca iónica pode ser descrito em termos de uma equação de equilíbrio, sendo a sua extensão medida pela respectiva constante de equilíbrio. A troca, por reacção com a resina, de dois iões A e B supostos, por facilidade, monovalentes é representada, nessas circunstâncias, pela equação:

$A_s + B_r \leftrightarrow A_r + B_s$; o índice s refere-se à fase solução e o índice r à fase resina $K_B = |A|_r \, |B|_s / |A|_s \, |B|_r$; esta constante de equilíbrio K_{AB} designa-se por coeficiente de selectividade e um alto valor para K_{AB} significa que a resina tem uma afinidade maior para o ião A do que para o ião B. A afinidade de uma resina para um dado ião, em solução, pode também ser medida pelo coeficiente de distribuição, Dg, correspondente ao equilíbrio do ião nas fases solução e resina;

$A_s \leftrightarrow A_r$; $Dg = |A|_r / |A|_s$ = (mmoles Ar) (mL solução)/g (resina) (mmoles As).

A afinidade de uma resina para um ião e o tempo de retenção do ião nessa resina estão relacionados; quanto maior for a afinidade, maior é o tempo de retenção do ião na resina.

5.3.3 | DETECTORES

A detecção por condutividade eléctrica, ou condutimetria, é o método mais usado em cromatografia iónica para detectar os iões já separados por permuta iónica na coluna, embora haja outros tipos de detecção, nomeadamente a espectrofotométrica e a electroquímica. O cromatógrafo iónico utiliza um detector condutimétrico, colocado após a unidade supressora (supressor) e ligado ao sistema de análise de dados (computador). A condutividade eléctrica é a propriedade que têm as soluções electrolíticas de conduzir a corrente eléctrica, quando se aplica uma diferença de potencial (ou campo eléctrico) entre dois eléctrodos às mesmas. É então válida a lei de Ohm V = RI, mas em vez de R (resistência da solução), utiliza-se uma outra grandeza mais adequada, a condutância, G, com G = 1/R, expressa em Siemens (S), no SI; por outro lado é G = k A/l, sendo k, a condutância específica da solução, A, a área dos eléctrodos (cm^2) e, l, a distância entre os eléctrodos (cm);

G = k A/l → k =G (l/A) ou (a) k = KG (S cm^{-1}), com K =l/A, constante para uma dada célula electrolítica. Chama-se condutância equivalente, Λ, a uma grandeza definida pela equação: (b) Λ = 1000k/C, sendo k, a condutividade específica da solução e C, a concentração da solução expressa em eq /1000 cm^3. Se conjugarmos as equações (a) e (b) temos a equação G = Λ C/1000 K que relaciona a condutância da solução com a condutância equivalente, concentração C da solução e a constante K da célula electrolítica (Gjerde & Fritz, 1987).

5.3.4 | UNIDADE SUPRESSORA OU SUPRESSOR

O supressor troca os catiões do eluente e da amostra, geralmente Na^+ ou K^+, em iões H^+ (aq). Estas reacções neutralizam o eluente, mas não afectam os aniões da amostra. As reacções de trocas iónicas que ocorrem no supressor reduzem a condutividade eléctrica do eluente e aumentam a condutividade eléctrica da amostra de aniões. A unidade supressora mais utilizada é constituída por membranas de fibras ocas de um polietileno sulfonatado (Res-$SO_3^-H^+$), fortemente ácido que neutraliza o eluente, reduzindo a sua condutividade, e transforma a amostra de aniões numa solução, fortemente ionizada e de alta condutividade. As reacções químicas que ocorrem no supressor podem ser traduzidas pelas equações, a) e b), quando se utiliza como eluente uma solução diluída de carbonato e bicarbonato de sódio (Gjerde & Fritz, 1987) :

a) Eluente

$$Na^+HCO_3^- + Res\text{-}SO_3^-H^+ \rightarrow Res\text{-}SO_3^-Na^+ + H_2CO_3\ (CO_2+H_2O)$$

$$Na^+_2CO_3^{2-} + 2\ Res\text{-}SO_3^-H^+ \rightarrow 2\ Res\text{-}SO_3^-Na^+ + H_2CO_3\ (CO_2+H_2O)$$

b) Amostra de aniões

$$M^+\ A^-\ ou\ M_2^+A^{2-},\ A^-\ = F^-,\ Cl^-,\ Br^{--},\ NO_3^-\ e\ A^{2-} = SO_4^{2-}$$

$M^+ A^- + Res\text{-}SO_3^-H^+ \rightarrow Res\text{-}SO_3^-\ M^+ + H^+\ A^-$, ácido muito forte e totalmente ionizado.

$M_2^+A^{2-} + 2\ Res\text{-}SO_3^-H^+ \rightarrow 2\ Res\text{-}SO_3^-\ M^+ + H_2^+\ A^{2-}$, ácido muito forte e totalmente ionizado.

5.3.5 | O APARELHO DYONEX ICS-1000

O aparelho DYONEX ICS-1000, utilizado na determinação da concentração aniónica (F^-, Br^-, Cl^-, NO_3^- e SO_4^{2-}) das águas analisadas, integra essencialmente oito componentes: (1) um líquido eluente; (2) bomba de alta pressão: (3) um injector da amostra de iões; (4) uma pré-coluna, (5) uma coluna separadora de iões; (6) uma unidade supressora química; (7) um detector, célula de condutividade; (8) um sistema colector de dados, computador com software Chromeleon (Dionex Corporation, 2003).

Antes da amostra de iões ser introduzida, o sistema é calibrado com soluções padrão (padrões); comparando os dados obtidos relativos à amostra com os obtidos respeitantes aos padrões, a amostra de iões pode ser quantificada, isto é, determinadas as concentrações dos diferentes iões. O software Chromelon produz um cromatograma, gráfico dos dados fornecidos pelo detector em função do tempo, convertendo cada pico (relativo a uma dada espécie iónica da amostra) do cromatograma, na respectiva concentração, e imprime os resultados. A figura 5.1 mostra esquematicamente os componentes supracitados e a sequência dos mesmos.

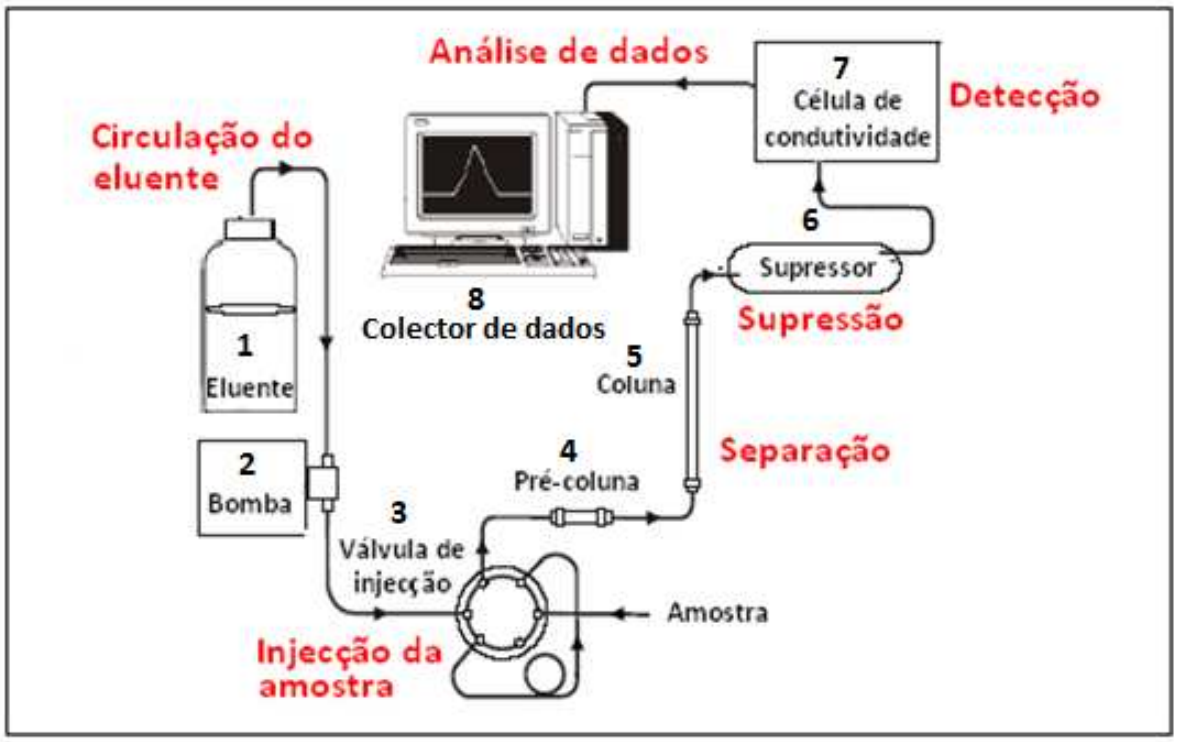


Figura 5.1 | Esquema dos componentes essenciais do DYONEX ICS-1000.

1. O eluente, solução diluída de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$), é um transportador isocrático da amostra que ajuda a separação dos iões da amostra, mantendo constante a composição e a concentração durante a operação.

2. A bomba de alta pressão empurra o eluente e a amostra através da pré-coluna e coluna separadora de iões.

3. O injector da amostra injecta a amostra no eluente.

4. A pré-coluna remove contaminações que possam envenenar e danificar a coluna separadora de iões, colocada imediatamente a seguir.

5. A coluna separadora de iões separa os iões do eluente e da amostra que a atravessam, por permuta iónica.

6. Supressor melhora selectivamente a detecção da amostra de iões, suprimindo simultaneamente a condutividade do eluente.

7. O detector, célula de condutividade, mede a condutância dos iões da amostra e produz um sinal, relativo à concentração de cada espécie iónica que a constitui, que envia para o colector de dados.

8. O sistema colector de dados identifica cada espécie iónica, com base no tempo de retenção e indica a respectiva concentração, integrando a área ou a

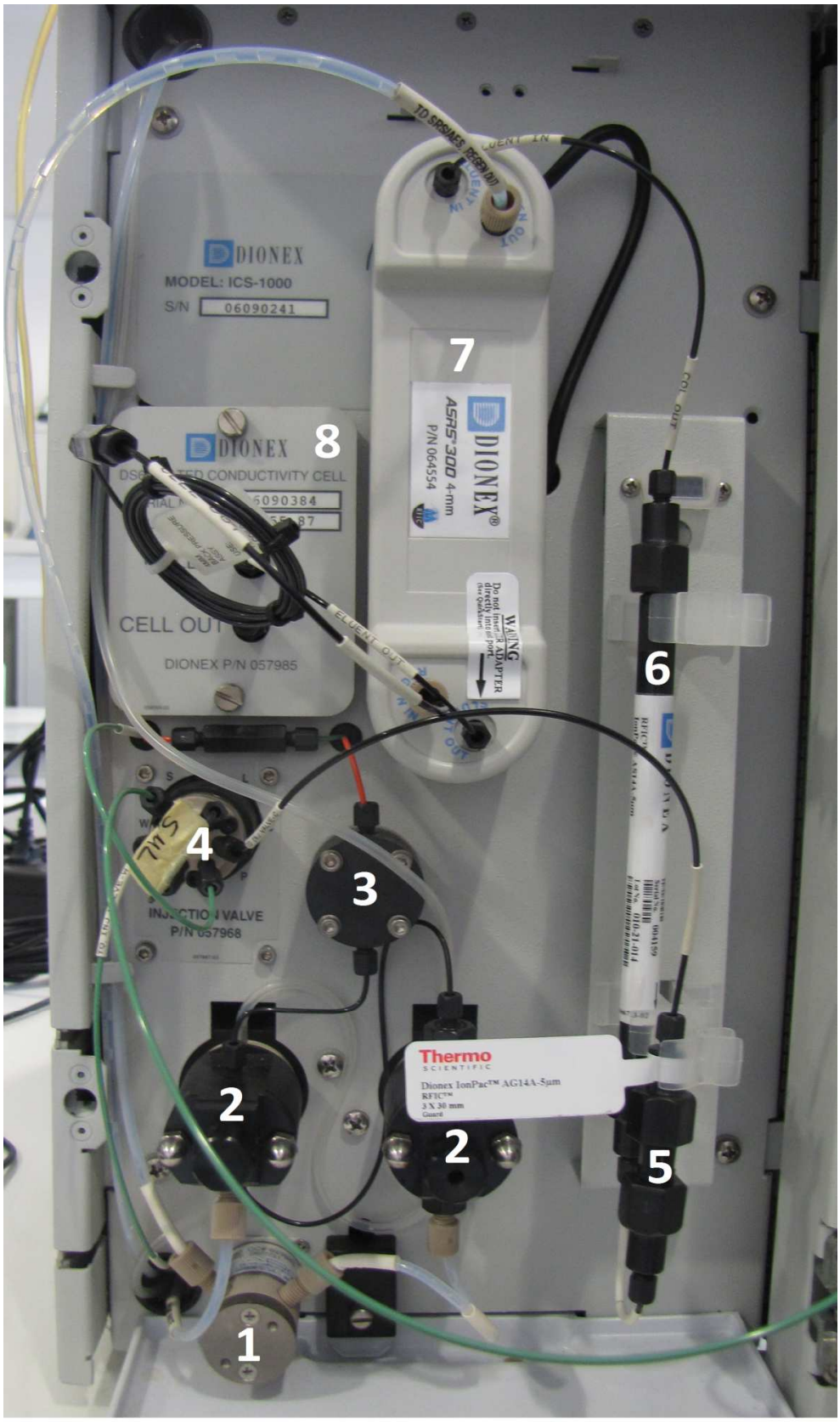
altura do pico. Esta quantificação é realizada, comparando os picos do cromatograma da amostra, com os picos do cromatograma, obtidos para a solução padrão.

As figuras 5.2 e 5.3 mostram, respectivamente o painel frontal e o painel de componentes, instalado atrás da porta do painel frontal do DYONEX ICS-1000.

Figura 5.2 | Painel frontal do DYONEX ICS-1000.

Figura 5.3 | Painel de componentes do DYONEX ICS-1000.

A figura 5.4 mostra em pormenor os diferentes componentes, bem como as respectivas ligações entre eles.



LEGENDA:

1- Válvula do Eluente	3- Transdutor de Pressão	5- Pré-Coluna	7- Supressor
2- Bomba Principal	4- Válvula de Injecção	6- Coluna Separadora	8- Célula de Condutividade

Figura 5.4 | Painel de componentes em pormenor do DYONEX ICS-1000.

A figura 5.5 ilustra o curso da corrente de líquido através do DYONEX ICS-1000.

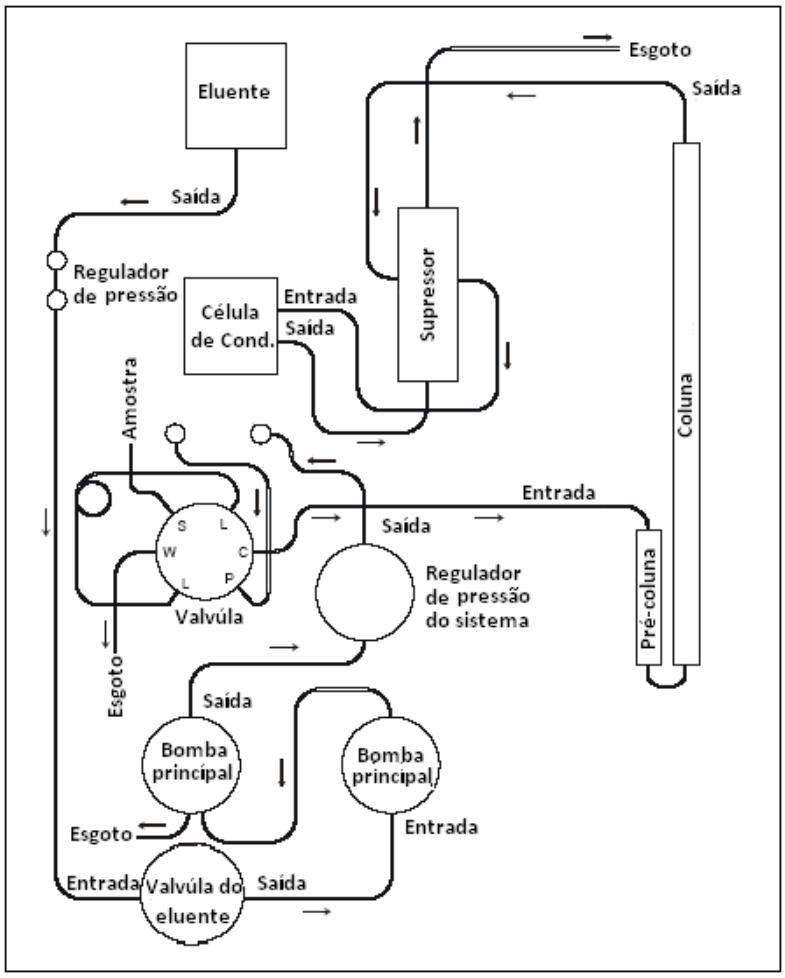


Figura 5.5 | Curso da corrente de líquido através do DYONEX ICS-1000.

O eluente flui do reservatório para a válvula do eluente e daqui para a bomba principal. Então é empurrado através do transdutor de pressão que mede a pressão do sistema; daqui é impelido para o amortecedor de pulsações que aplaina as variações mais pequenas da pressão da bomba para minimizar o ”ruído” da linha de base; então o eluente flui para a válvula de injecção. Depois da amostra ser colocada no circuito “looping” da amostra e da válvula de injecção ser comutada para a posição INJECTAR, o eluente passa através do circuito looping da amostra. A mistura eluente/amostra é bombeada através da pré-coluna e coluna separadora e atravessa o supressor. A partir do supressor a mistura eluente/amostra flui para a célula de condutividade onde são detectados os iões a analisar e enviado um sinal para o software Chromelon. Finalmente a mistura eluente/amostra sai da célula de condutividade, atravessa de novo o supressor onde é reciclada e usada como uma

fonte de água, regeneradora da câmara do mesmo, e sai para o esgoto (Dionex Corporation, 2003).

5.3.6 | MODO DE PROCEDER

5.3.6.1 | Preparar o eluente.

a) Medir 4 ml de $NaHCO_3$, 0,5 M e 32 mL de Na_2CO_3, 0,5 M e transferir para um balão de aferição de 2000 mL; perfazer com água até obter 2000 mL de solução de eluente e tapar o balão.

b) Submeter o balão com eluente a um banho ultra-sónico, durante 5 minutos a fim de serem extraídas todas as bolhas de ar do eluente (Figura 5.6).

c) Com auxílio de um funil introduzir o eluente no aparelho DIONEX ICS-1000. Guardar o eluente não utilizado no frigorífico.

Figura 5.6 | Preparação do eluente em balão de aferição de 2000 mL.

5.3.6.2 | Preparar as soluções padrão (padrões) P1, P2, P3, P4 e P5.

d) As soluções padrão, (padrões) P1, P2, P3, P4 e P5 são soluções que contêm uma mistura de iões, respectivamente F^-, Cl^-, Br^-, NO_3^- e SO_4^{2-}, tendo cada espécie iónica concentração conhecida expressa em µg/mL (mg/L), para cada um destes padrões. Estas soluções obtêm-se a partir de padrões primários para cromatografia iónica de F^-, Cl^-, Br^-, NO_3^- e SO_4^{2-},todos com a concentração de 1000 µg/mL.

a) Preparar uma solução Intermédia de padrão primário de concentração igual a 100 µg/mL, para cada solução de iões.

Dispor os 5 padrões primários de F^-, Cl^-, Br^-, NO_3^- e SO_4^{2-} sobre a mesa de trabalho, pela ordem indicada.

Dispor 5 balões de aferição de 100 mL pela mesma ordem.

Usando pipetas de 10 mL, uma para cada padrão primário, transferir 10 mL para cada balão de aferição, indicado anteriormente, e adicionar água até perfazer 100 mL.

b) Preparar P1

Usando 5 pipetas adequadas, uma para cada solução Intermédia de Padrão Primário, medir e transferir para um balão de aferição de 100 mL: 0,50 mL de F^-; 15,0 mL de Cl^-; 0,50 mL de Br^-; 5,0 mL de NO_3^-; 6,0 mL de SO_4^{2-}. Adicionar água ao balão de aferição até perfazer 100 mL.

Nota - As concentrações de cada espécie iónica expressas e µg/mL (mg/L) são numericamente iguais ao respectivo volume, medido com a pipeta, em mL, de solução intermédia de padrão primário.

C) Obter os padrões P2, P3, P4 e P5

Proceder de modo semelhante ao descrito para P1, medindo volumes dos diferentes padrões primários inscritos na tabela seguinte.

Tabela 5.1 | Concentrações de cada espécie iónica expressas em mL, de solução intermédia de padrão primário.

Iões / Padrão	F^-	Cl^-	Br^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
P1	0,50 mL	15,0 mL	0,50 mL	5,0 mL	6,0 mL
P2	1,00 mL	30,0 mL	1,00 mL	10,0 mL	12,0 mL
P3	1,50 mL	45,0 mL	1,50 mL	15,0 mL	18,0 mL
P4	2,00 mL	60,0 mL	2,00 mL	20,0 mL	24,0 mL
P5	2,50 mL	75,0 mL	2,50 mL	25,0 mL	30,0 mL

5.3.6.3 | Hidratar o supressor

a) A hidratação do supressor garante que as membranas de troca de iões estão suficientemente inchadas para a correcta troca iónica. Esta operação tem a duração de cerca de 20 minutos.

b) Usar a seringa e o respectivo adaptador e injectar cerca de 3 ml (ASRS 300-4 mm) de água desionizada através da entrada ELUENT OUT. Seguidamente usando a seringa e o respectivo adaptador injectar aproximadamente 5 mL de água desionizada através da entrada REGEN IN (Figura 5.7.).

c) Esperar 20 minutos para permitir a hidratação total das membranas e divisões do supressor.

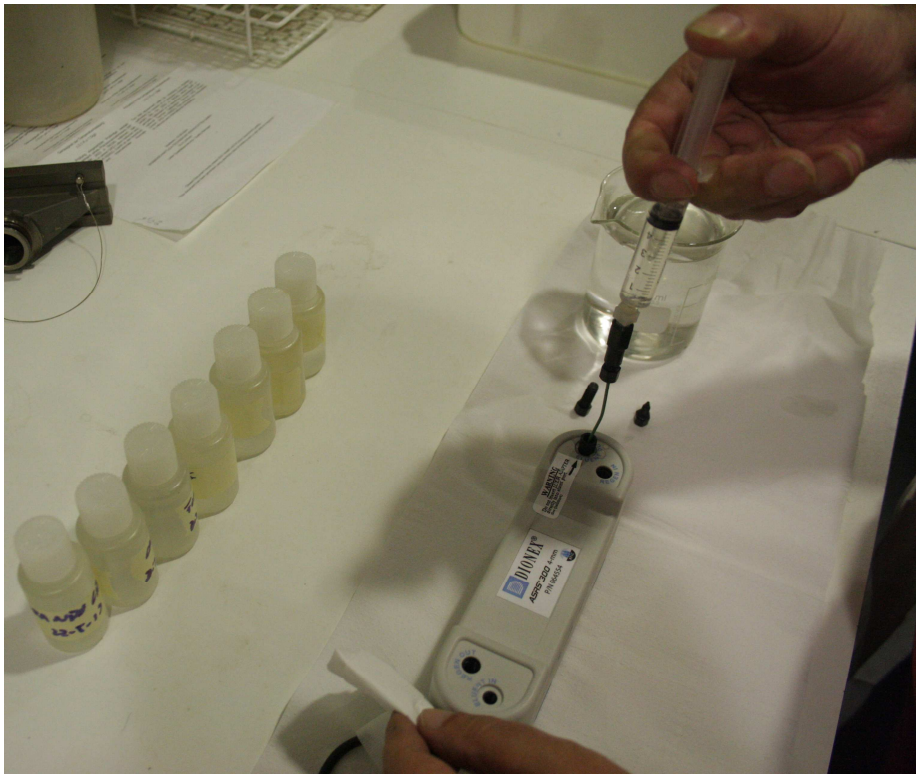


Figura 5.7 | Hidratação do supressor modelo ASRS 300-4 mm.

5.3.6.4 | Fazer as ligações do aparelho de acordo com o esquema da figura 5.4.

5.3.6.5 | Ligar o aparelho através do botão exterior.

5.3.6.6 | Ligar o gás (N_2) e esperar a estabilização da pressão entre 6-9 psi.

5.3.6.7 | Introduzir o software.

a) Ligar o computador.

b) Abrir software CHROMELEON (Figura 5.8).

FILE - BROWSER - PAINEL - PUMP SETTING - ELUENT BOTTLE.

c) Acertar o volume de eluente a 2 L.

5.3.6.8 | Fazer purga, retirando as bolhas de ar do fluxo.

a) Clicar em PUMP SETTING.

b) Abrir a bomba da esquerda, rodando duas voltas para a esquerda e clicar PRIME.

c) Fechar a bomba, rodando duas voltas para a direita.

5.3.6.9 | Ligar a bomba (PUMP SETTING) e aumentar o caudal do eluente de 0,1 mL/min a 0,5 mL/min até a pressão estabilizar.

5.3.6.10 | Ligar supressor.

5.3.6.11 | Abrir DETECTOR SETTING; ler e verificar os dados do painel. Esperar estabilização da condutância entre 24-28 µS.

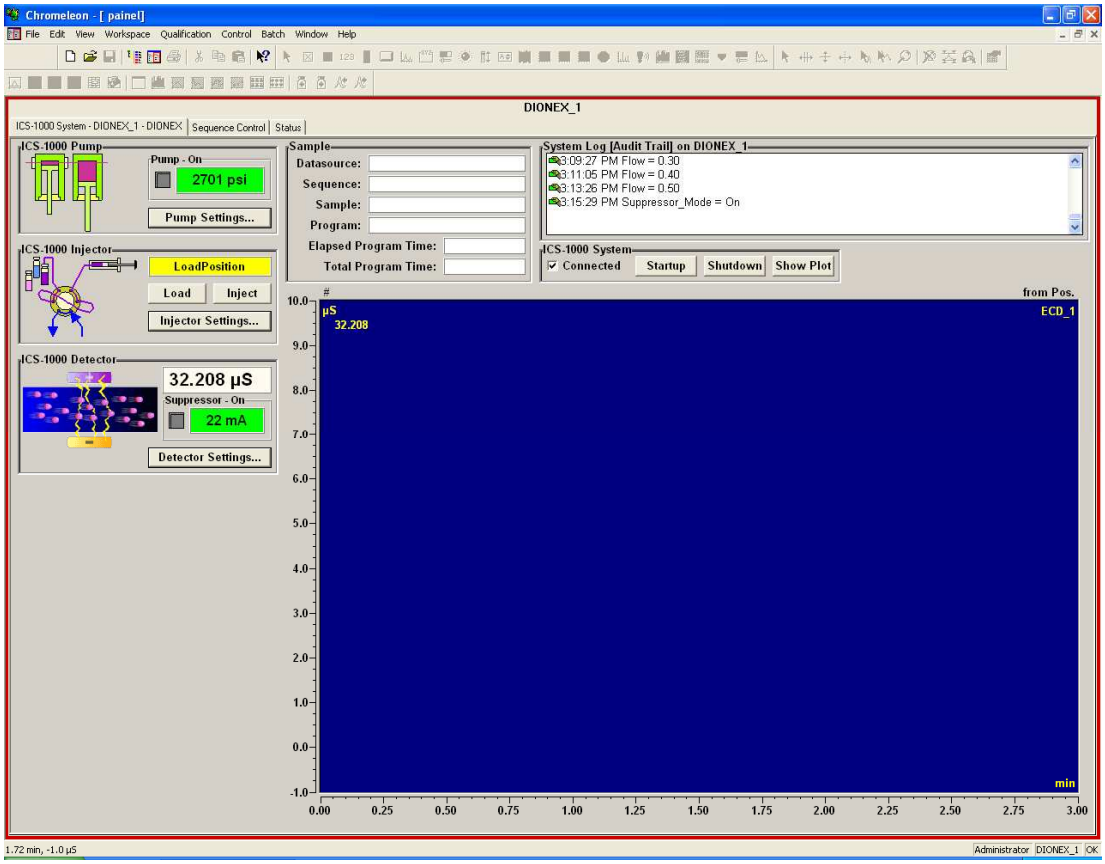


Figura 5.8 | Painel principal do software chromeleon utilizado no DYONEX ICS-1000.

5.3.6.12 | Clicar em SEQUENCE CONTROL e seguidamente em ACQ (ACQUISITION) ON para verificar a estabilidade do sinal. Quando o sinal estiver estabilizado clicar em ACQ OFF.

5.3.6.13 | Obter as rectas de calibração.

a) Ir a BROWSER - SEQUÊNCIAS - (P1, P2, P3, P4, P5) - BATCH - START.

Injectar P1 e clicar LOAD. Quando a corrida de P1 acabar, injectar P2, clicar LOAD e assim sucessivamente até P5 (Figura 5.9).

b) Nota: cada corrida demora cerca de 10 minutos e cada recta de calibração obtida tem que apresentar um coeficiente de eficácia de 99,9…%.

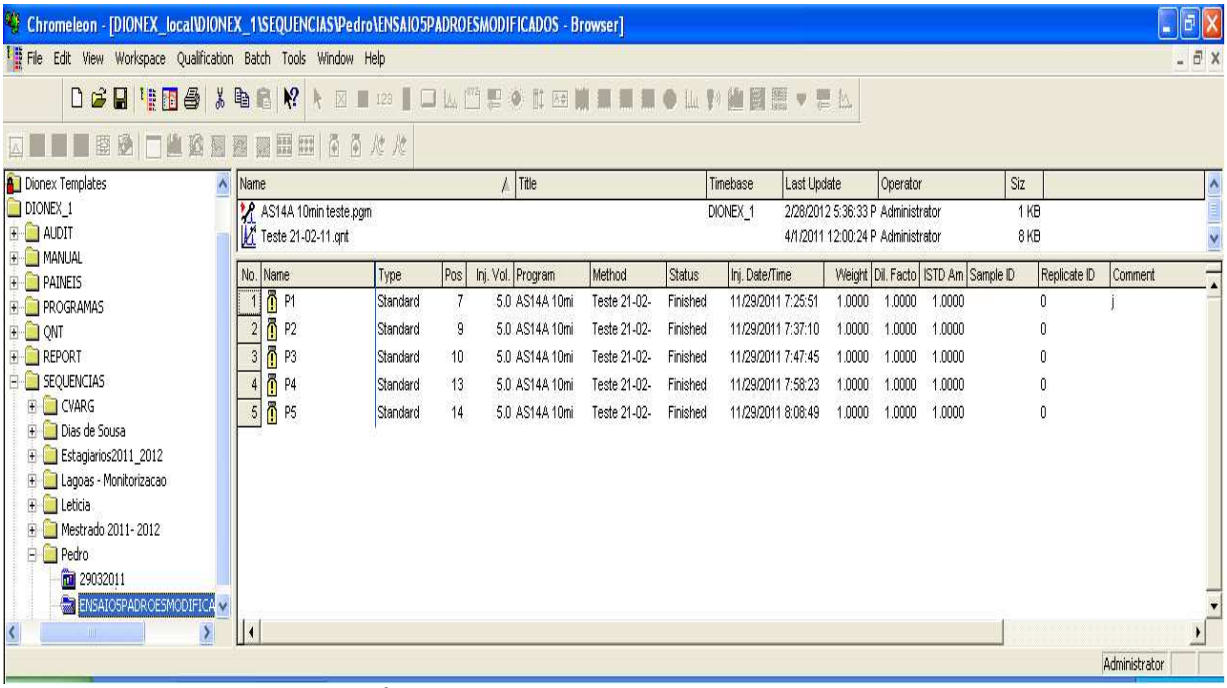


Figura 5.9 | Painel "sequências" do software chromeleon utilizado no DYONEX ICS-1000.

5.3.6.14 | Verificar as rectas de calibração dos padrões (P1, P2, P3, P4, P5).

Clicar em P1 e depois em CALIBRAÇÃO na parte inferior do painel e verificar o coeficiente de eficácia que deve ser 99,9%. A recta de calibração deve conter pelo menos 4 pontos, sendo desejável que contenha 5 pontos.

5.3.6.15 | Introduzir a lista das amostras a analisar.

a) Clicar em P5 e com o botão do lado direito do rato clicar em APPEND SAMPLE.

b) Em TYPE seleccionar UNKOWN. Escrever o nome e data da amostra.

c) Preparar a lista de N amostras, clicando N vezes em APPEND SAMPLE, introduzindo sucessivamente o nome e a data de cada amostra.

d) Clicar em SAVE.

5.3.6.16 | Determinar as concentrações aniónicas de F^-, Br^-, Cl^-, NO_3^- e SO_4^{2-}.

a) Seleccionar a 1ª amostra.

b) Clicar BATCH - START.

c) Observar cromatograma (Figura 5.10.).

d) Ler os valores finais de concentração para cada anião analisado.

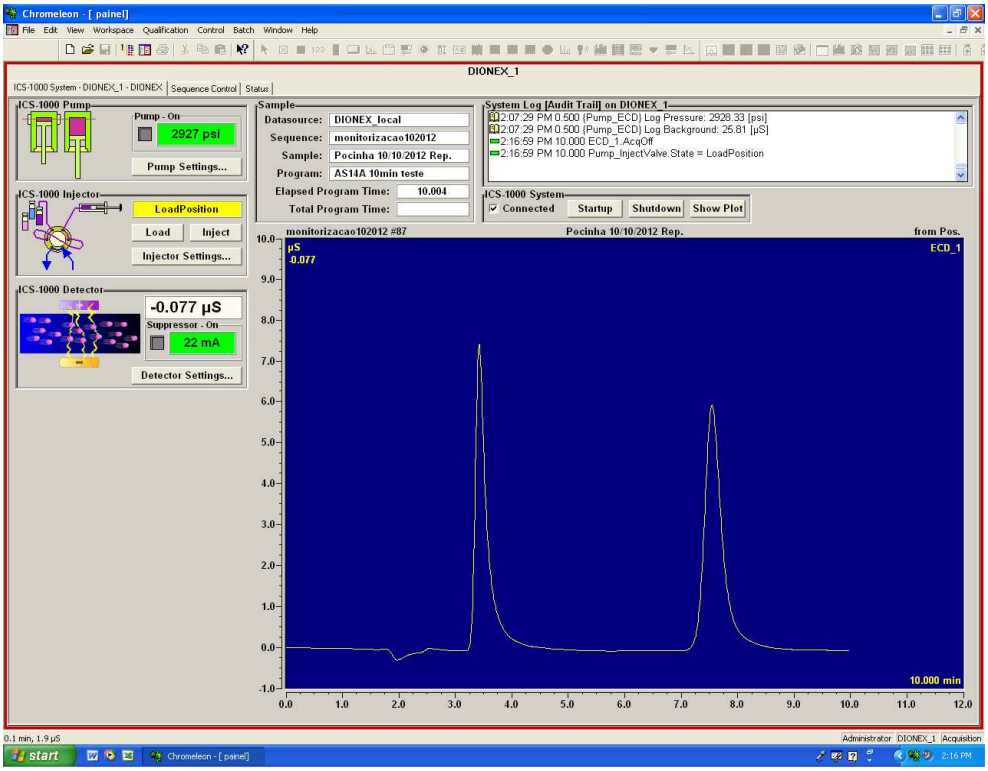


Figura 5.10 | Formação de um cromotograma através do software chromeleon utilizado no DYONEX ICS-1000.

5.3.6.17 | Desligar o aparelho DYONEX.

a) Fechar software CHROMELEON e desligar o computador.

b) Desligar gás (N_2).

c) Desligar o aparelho no botão exterior.

d) Abrir porta e desfazer as ligações referidas em 5.3.6.5.

e) Retirar o SUPRESSOR.

f) Hidratar o SUPRESSOR e guardá-lo.

5.4 | ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO ATÓMICA-MÉTODO DA CHAMA

5.4.1 | INTRODUÇÃO

A espectroscopia de absorção atómica estuda a absorção de energia radiante nas zonas do visível e ultravioleta (UV) por átomos neutros no estado gasoso.

Quando se faz incidir sobre átomos neutros de um elemento, no estado de vapor, radiação visível ou UV com uma frequência (v), característica do elemento considerado, os átomos neutros e livres desse elemento são capazes de absorver essa radiação, ficando excitados; os átomos excitados voltam ao estado inicial, emitindo radiação de v igual à absorvida (Gonçalves, 1983).

Se for E_o a energia do átomo no estado fundamental (o de mais baixa energia) e E a energia do estado excitado temos que:

$\Delta E = E - E_o = hv$ ou $E = E_o + hv$; h (constante de Planck)= 6,62517x10-34 Js; v (frequência absorvida e depois emitida, sendo v= c/λ; c (velocidade da luz no vazio) = (3,00x108 m/s) e λ, comprimento de onda da radiação. A figura 5.11 esquematiza a absorção e emissão de radiação por um átomo.

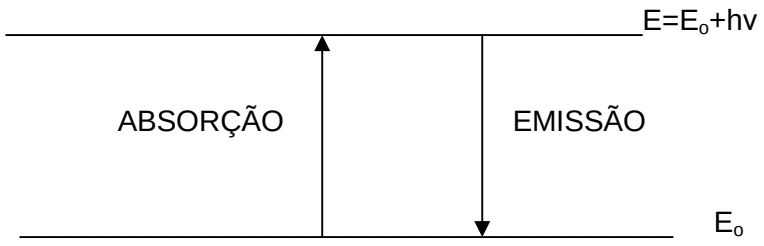


Figura 5.11 | Esquematização da absorção e emissão de radiação por um átomo.

Designa-se “risca de ressonância” à que corresponde à transição entre o estado excitado de mais baixa energia e o estado fundamental; estas riscas são as mais utilizadas em absorção atómica (Gonçalves, 1983).

A aplicação do método de espectroscopia de absorção atómica só foi possível depois dos trabalhos de Walsh, Alkemade e Milatz em 1955, porque os espectros atómicos são de riscas, sendo difícil obter uma fonte de energia sensivelmente monocromática e suficientemente intensa para ser possível a aplicação da lei de Lambert-Beer, relativa à absorção.

Em fotometria de chama de absorção atómica um feixe de radiação paralelo passa através de uma chama que contém os átomos absorventes, segundo um percurso óptico L. Admitindo que todos os átomos absorventes estão na forma neutra e no estado fundamental, se um feixe de radiação paralelo e monocromático (um só λ)

de intensidade Io passa através de um percurso óptico L, o feixe emergente terá uma intensidade It, relacionada com Io, segundo a lei de Lambert-Beer do seguinte modo:

$I_t=I_o$. exp -kCL ou log 10 I_t/I_o=-kCL; log I_o/I_t=kCL, sendo log I_o/I_t=A (Absorvância), vem:

A= kCL, lei de Lambert-Beer, sendo k uma constante, c a concentração dos átomos livres e L o percurso óptico. A constante k, também conhecida por absortividade tem um valor característico para cada elemento e para cada conjunto de parâmetros instrumentais, mas como o método utilizado é comparativo podemos escrever mais simplesmente: AαC (Gonçalves, 1983).

5.4.2 | APARELHOS DE ABSORÇÃO ATÓMICA

Um aparelho de absorção atómica é essencialmente constituído por quatro sistemas: (a) sistema de emissão ou fonte de radiação que emite o espectro do elemento a analisar; (b) sistema de absorção cujo principal componente é o vapor atómico que vai absorver parte da energia emitida pela fonte; (c) sistema de selecção espectral ou monocromador; (d) sistema de detecção e registo (Gonçalves, 1983).

O aparelho GBC 906 AA, utilizado para determinar concentrações de Na, K, Mg, Ca e Si nas águas analisadas, possui como fonte de radiação (a), uma lâmpada de cátodo oco, (b) um atomizador, (c) um monocromador e (d) um detector/registador (Antanasopoulos, 2003).

a) Lâmpada de cátodo oco

A lâmpada de cátodo oco produz uma estreita risca espectral (feixe monocromático), característica do elemento em estudo; é constituída por um cátodo feito ou revestido pelo elemento em estudo, com forma cilíndrica e um ânodo em forma de anel, encerrados numa ampola que contém um gás inerte (néon ou árgon) a uma pressão de cerca de 7,5 mbar (10 torr). A tensão aplicada aos eléctrodos é 150-400 V e a intensidade da corrente varia entre 5 a 100 mA. Quando se aplica a tensão aos eléctrodos a descarga eléctrica ioniza o gás; os iões do gás bombardeiam o cátodo que emite átomos do elemento. Os átomos, no estado de vapor são excitados pelas colisões com átomos do gás raro e quando desexcitados emitem radiação característica do elemento. O cátodo e o ânodo são concebidos para produzir uma descarga estável e moderada, originando uma risca muito estreita ($\Delta\lambda\approx0{,}001$ nm) à saída, sendo necessário um tempo de 20 a 30 min para que se atinja a estabilização (Antanasopoulos, 2003).

b) Atomizador

Para que ocorra absorção atómica os átomos têm que estar livres. A análise parte de uma solução na qual os átomos estão ligados quimicamente e solvatados. Para formar átomos livres o solvente tem que ser removido e as ligações químicas quebradas o que é conseguido por três processos diferentes: por chama, por aquecimento sem chama (câmara de grafite), ou por um gerador de hidretos. O aparelho GBC 906 AA utiliza geralmente o 1º processo, isto é, atomização por chama, embora possa adaptar uma câmara de grafite ou um gerador de hidretos. O atomizador, constituído por um sistema que engloba um nebulizador, uma câmara nebulizadora e um queimador, tem por função converter a solução num aerossol, seleccionar o tamanho correcto das gotículas, rejeitando as de maior tamanho e transferir a amostra para o queimador onde ocorre então a atomização. O nebulizador usado é do tipo pneumático, no qual o fluxo de gases cria através do orifício um vácuo, aspirando a amostra que está no capilar. A afinação da posição do capilar produz uma taxa de consumo, variável com o vácuo. O choque da gota no extremo do nebulizador produz uma grande quantidade de partículas fáceis de atomizar. Todos os aparelhos GBC AA, têm um nebulizador variável, resistente à corrosão e calibrado como padrão, destacando-se entre as vantagens do mesmo, a capacidade de variação da sensibilidade, por ajustamento da taxa de consumo, e a compensação dos factores viscosidade e tensão superficial das gotículas do aerossol.

O queimador, constituído por materiais que minimizam a contaminação da amostra, caracterizados por robustez, inércia química e estabilidade, produz uma chama laminar longa com um percurso que coincide com o percurso óptico (L) do feixe incidente. Comummente existem dois tipos de chama: ar-acetileno e óxido nitroso-acetileno. A chama ar-acetileno é a mais largamente utilizada e a sua temperatura ronda os 2300 ºC. Distinguem-se quatro formas neste tipo de chama: a) Chama oxidante (pequeno cone azul); b) chama estequiométrica (grande cone azul e luminosa); c) chama luminosa; d) chama redutora (extremamente luminosa com fuligem no topo).

A chama óxido nitroso-acetileno é uma chama mais quente (≈ 2900 ºC), sendo usada para elementos que formam óxidos refractários (ex. Ca e Si), por atingir uma temperatura muito alta e ter um carácter muito redutor. Esta chama apresenta três zonas distintas: uma inicial, azul claro, uma segunda, rosa forte, chamada “ pluma vermelha” e uma zona de difusão azul. Podem distinguir-se também quatro formas de chama: a) Chama oxidante (chama clara e “pluma vermelha” com 1 cm de altura máxima); b) Chama estequiométrica (chama clara com uma leve cor amarela na base

da “pluma vermelha” cuja altura varia entre 1-2 cm); c) Chama redutora (chama amarela com “a pluma vermelha” mal visível); d) chama muito redutora (chama extremamente luminosa com formação de fuligem).

c) Monocromador

O monocromador usado em espectroscopia de absorção atómica apresenta uma resolução média de cerca de 0,2 nm. O parâmetro mais importante é a quantidade de energia processada, a qual determina o ajustamento requerido mais vantajoso. A resolução (banda de λ que se repete) depende de muitos factores, nomeadamente, a distância focal, o número de linhas por mm da rede de difracção e a largura da entrada e saída; as larguras mais utilizadas são 0,2 nm, 0,5 nm e 1,0 nm. O monocromador remove a maior parte da radiação da chama, excepto a devida à risca de ressonância produzida pela chama (Antanasopoulos, 2003).

d) Detector/Registador

O detector mais comum da energia transmitida e portanto da absorvida é um tubo fotomultiplicador, do tipo HAMAMATTSU R 106 com um pico de resposta entre 185 nm a 850 nm. O detector “vê”, quer a luz emitida pelo cátodo, quer a originada pela chama, sendo a primeira codificada por modulação. As electrónicas estão sincronizadas com esta modulação e por isso só a luz com esta frequência é detectada.

5.4.3 | INTERFERÊNCIAS

Como o método de absorção atómica é um método de análise comparativo, as determinações quantitativas fazem-se por comparação com soluções padrão (padrões), pelo que qualquer comportamento da amostra diferente do dos padrões pode conduzir a interferências nos resultados. As principais interferências são: as espectrais e as químicas (Antanasopoulos, 2003).

5.4.3.1 | Interferências espectrais

Embora o espectro de absorção atómica de um elemento seja simples (conjunto de riscas separadas) e característico, pode observar-se a sobreposição da risca de outro elemento que possui um comprimento de onda próximo do elemento em estudo (ex, Si e V). Este tipo de interferência espectral é muito raro, mas identificada a possibilidade desta interferência ocorrer, deve escolher-se outra risca ou remover

quimicamente a interferência (o elemento perturbador). Há contudo outras interferências espectrais mais frequentes: a) Risca não absorvente ou fracamente absorvente (fraca intensidade) emitida pela lâmpada de cátodo oco e capaz de passar pelo monocromador; b) Dispersão da luz (os átomos e as moléculas ao desexcitarem-se enviam radiação em todas as direcções); c) Absorção não atómica (absorção molecular e difusão da luz). O efeito destas interferências é causar uma curvatura na recta de calibração, A= f (C). Com efeito, atendendo à lei de Lambert-Beer, $A= \log_{10} I_0/I_t$, I_0, intensidade da radiação emitida pela lâmpada de cátodo oco e I_t, intensidade da radiação transmitida (energia não absorvida pela amostra), vem no caso ideal da absorção pelos átomos ser total, isto é I_0=100% e I_t=0 → $A=\log_{10}100/0=\infty$. O caso ideal nunca é possível devido às interferências a), b) e c), citadas anteriormente, a que se acrescenta a originada pelo facto do feixe incidente poder não atravessar completamente a chama; nestas circunstâncias a lei de Lambert-Beer transforma-se: $A= \log_{10} I_o/ (I'_t+k)$, I'_t, intensidade da radiação transmitida, correspondente à energia absorvida pela amostra e k, radiação transmitida devido às interferências. Fazendo k=1% pode ver-se que os resultados obtidos diferem dos casos ideais tanto mais quanto maior for a absorvância; assim para I_t=100 e $I_{t'}$=99, vem $A=\log_{10}100/100=0$ e $A=\log_{10}100/99+1=0$, mas se I_t=0 e I'_t=0, vem $A=\log_{10}100/0=\infty$ e $A=\log_{10}100/1=2,00$ (caso real). A figura 5.12 mostra a influência de k, luz não absorvida pela amostra (luz perdida), no valor da absorvância vs concentração, C (Antanasopoulos, 2003).

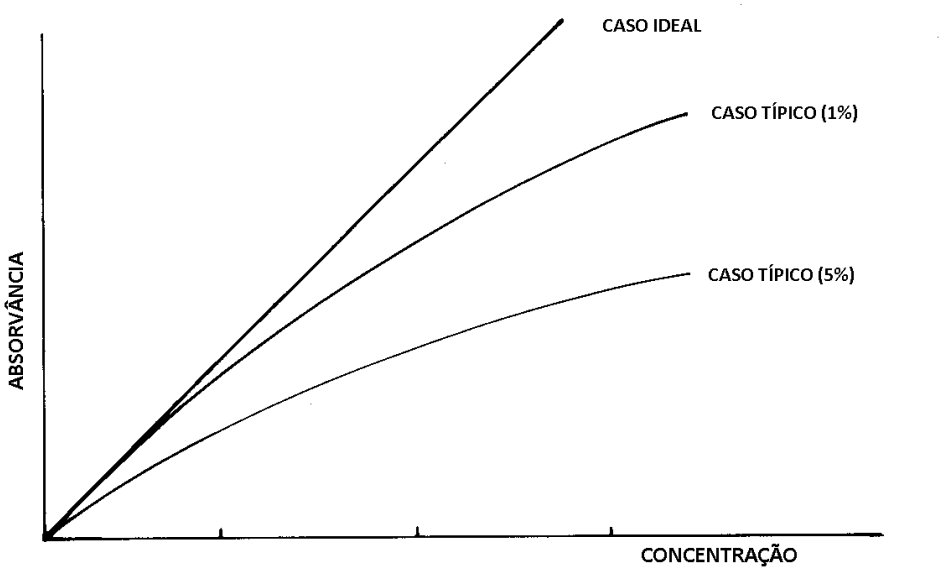


Figura 5.12 | Influência de k, na luz não absorvida pela amostra (luz perdida), no valor da absorvância vs concentração (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

5.4.3.2 | Interferências químicas

As interferências químicas são as que diminuem o número de átomos livres que atingem o percurso óptico para serem absorvidos. Podem dividir-se segundo a sua origem, em interferências devido a: a) Características físicas da matriz, b) Formação de compostos estáveis; c) Ionização do elemento em estudo (Antanasopoulos, 2003).

a) Características físicas da matriz (solução)

A nebulização da amostra pode ser afectada pela precipitação, antes de entrar no nebulizador e pelas características físicas das soluções nomeadamente, viscosidade, densidade, tensão superficial, tensão do vapor do solvente e pH (característica química). Há dois factores que têm uma grande influência nas interferências químicas: o tamanho das gotículas do aerossol que deve ser o mínimo possível e a velocidade de queima da chama que não deve ser muito elevada (daí não se usar O_2 como comburente) e que pode ajustar-se, regulando os caudais comburente/combustível.

b) Formação de compostos estáveis

A formação de compostos estáveis (refractários) entre o elemento e as espécies químicas existentes na solução (matriz) ou na chama diminui o número de átomos livres e influencia por defeito os resultados obtidos, relativamente à concentração. Usando uma chama de temperatura mais elevada, chama de óxido nitroso/acetileno em vez da chama ar/acetileno, estes compostos refractários dissociam-se, por quebra e ligações. Em alternativa podem usar-se elementos "libertadores", como o lantânio e o estrôncio que evitam a formação dos compostos refractários indesejáveis.

c) Ionização do elemento

A ionização do elemento constitui um tipo especial de interferência química e é devida à ionização de uma certa percentagem (%) de átomos livres na chama, provocando uma diminuição do número de átomos neutros e disponíveis que podem absorver a radiação do comprimento de onda seleccionado; os metais alcalinos e alcalino-terrosos são os mais sensíveis a esta interferência por terem energias de ionização relativamente baixas. Uma maneira de diminuir esta interferência é diminuir a temperatura da chama o que pode, no entanto, introduzir outras interferências químicas; outra maneira de diminuir esta interferência consiste em adicionar ao

elemento em estudo, outro mais facilmente ionizável, como o Na, K ou Cs, o que faz aumentar o número de electrões presentes, deslocando o equilíbrio $E \leftrightarrow E^{+} + e^{-}$ para a esquerda. A figura 5.13 mostra a interferência da ionização na absorvância.

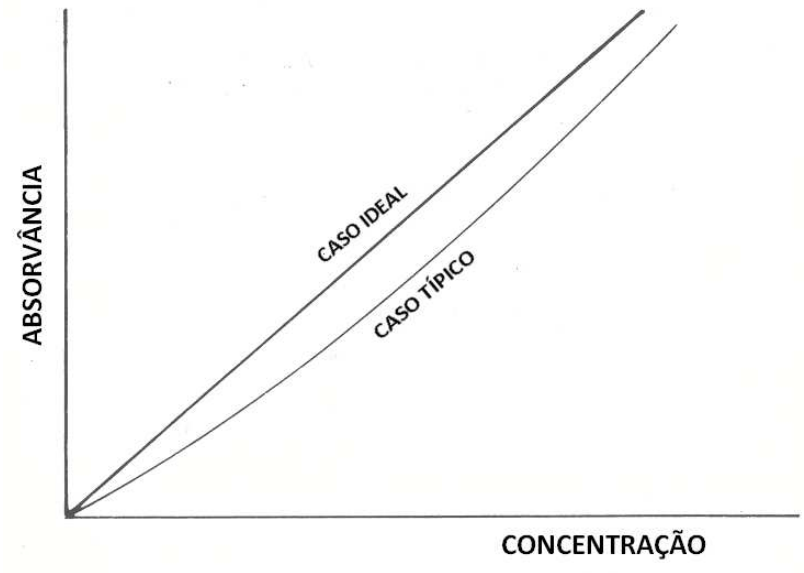


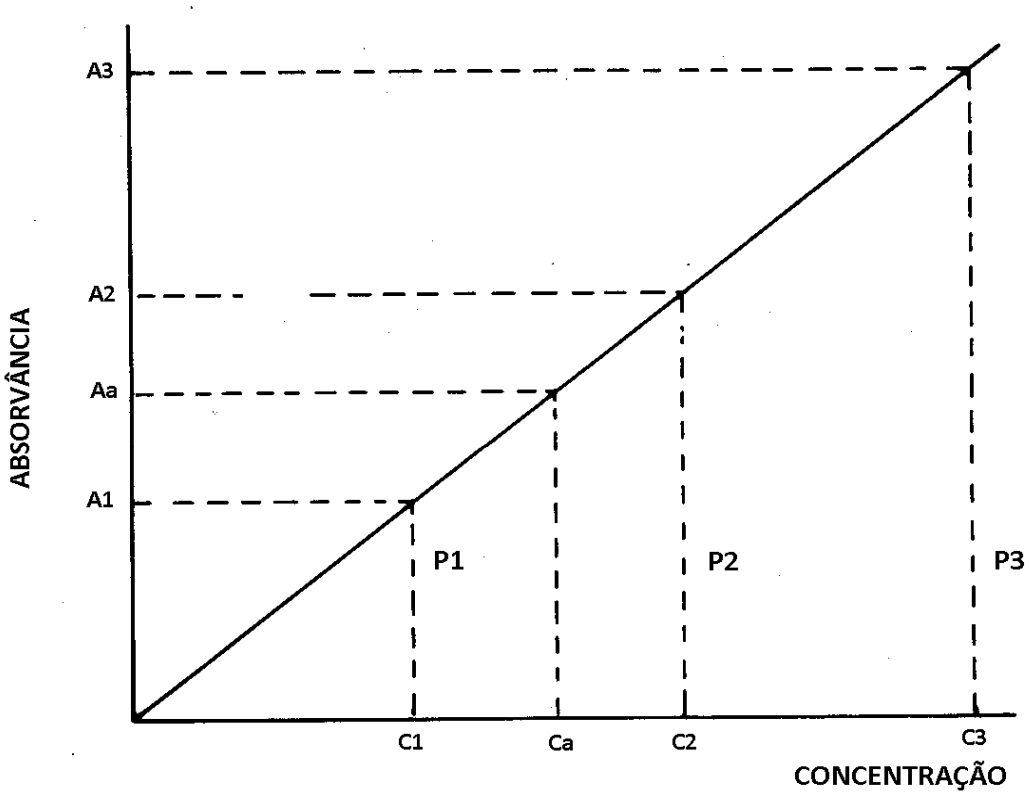
Figura 5.13 | Interferência da ionização na absorvância (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

5.4.4 | OPTIMIZAÇÃO DAS TÉCNICAS

A optimização das técnicas de absorção atómica, método da chama, envolve vários factores: a) Escolha de λ adequado (risca suficientemente intensa) que não implique excessiva diluição da amostra e que não introduza interferências espectrais; b) Intensidade da corrente da lâmpada de cátodo oco; c) Bandpass que minimize a radiação não absorvente e dispersa; d) Ajustamento da posição do queimador vs percurso óptico L que é feito manobrando os respectivos botões verticais e horizontais e com a ajuda de um pequeno alvo circular (Antanasopoulos, 2003). As indicações relativas aos factores supracitados relativos à optimização da técnica encontram-se, para cada elemento, numa tabela de dados que acompanha o GBC 906 AA.

5.4.5 | RECTA DE CALIBRAÇÃO

A recta de calibração é o método mais comum utilizado na análise quantitativa do elemento e estudo, uma vez que todas as interferências se podem considerar ausentes devido ao facto de padrões, solução “branco” e amostras se encontrarem em condições muito semelhantes. A figura 5.14 mostra uma recta de calibração A=f(C).



A1, A2 e A3, absorvância dos padrões 1, 2 e 3; C1,C2 e C3, concentrações dos padrões 1, 2 e 3; Aa, absorvância da amostra; Ca, concentração da amostra

Figura 5.14 | Recta de calibração A=f(C) de uma amostra a (adaptado de Antanasopoulos, 2003).

5.4.6 | MODO DE PROCEDER

5.4.6.1 | Preparar soluções padrão (padrões) P1, P2, P3, P4 e P5 do elemento escolhido (Na, K, Mg, Ca e Si).

Figura 5.15 | Padrões primários dos elementos químicos Na, K, Mg, Ca e Si.

As soluções padrão obtêm-se a partir dos Padrões Primários (AA) cujas concentrações são 1000 µg/mL (Figura 5.15), do seguinte modo:

a) Preparar um padrão intermédio de concentração igual 100 µg/mL.

Medir 10 mL de Padrão Primário AA, transferir para balão de aferição de 100 mL e adicionar água até perfazer 100 mL.

b) Preparar P1

Medir 5,0 mL do padrão intermédio, transferir para balão de aferição de 100 mL, adicionar água até cerca de metade do balão e 2,0 mL de HNO_3 65%; adicionar mais água até perfazer 100 mL. A concentração de P1 é 5,0 µg/mL.

c) Preparar P2, P3, P4 e P5.

Repetir b), medindo, em mL, os volumes inscritos na tabela 5.2.

Tabela 5.2 | Concentrações dos padrões para o elemento Na.

Padrão / Elemento	P1	P2	P3	P4	P5
Na	5,0	10,0	20,0	30,0	40,0

5.4.6.2 | Preparar solução para ensaio em branco

Transferir para um balão de aferição de 100 mL, 2 mL de HNO_3 65% e adicionar água até perfazer 100 mL de solução (Figura 5.16).

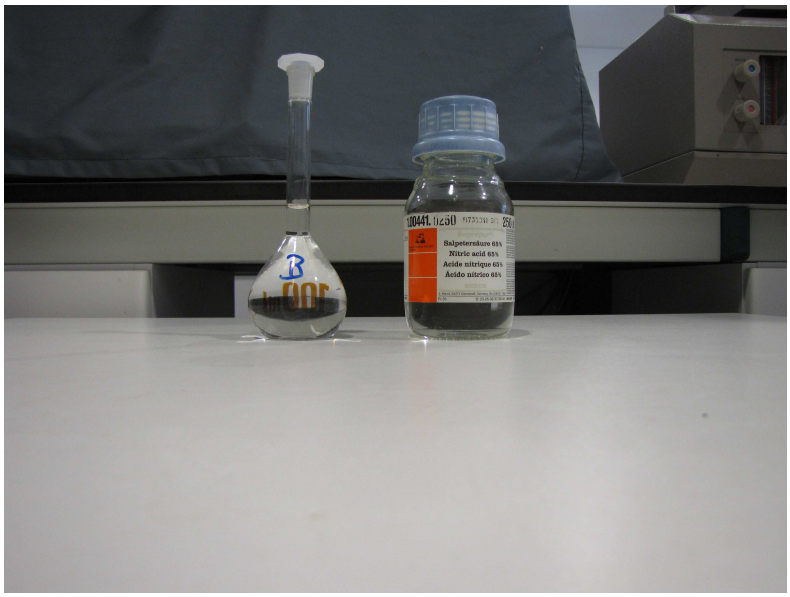


Figura 5.16 | Solução para ensaio em branco.

5.4.6.3 | Ligar aparelho GBC 906 AA.

5.4.6.4 | Ligar computador.

Abrir Programa GBC, Avanta VERs, 133. Aparecem 6 ícones: METHOD; SAMPLES; ANALYSIS; RESULTS; REPORT; INSTRUMENT.

Clicar: METHOD - Description - Element (Figura 5.17) Aparece a Tabela Peródica (T.P.).

5.4.6.5 | Seleccionar o elemento na T.P.

Aparece em cima o símbolo químico do elemento escolhido e a mistura comburente/combustível adequada à chama.

A lâmpada de cátodo oco acende e emite um feixe de um comprimento de onda (λ) apropriado que requer um tempo de 20 a 30 min para estabilizar.

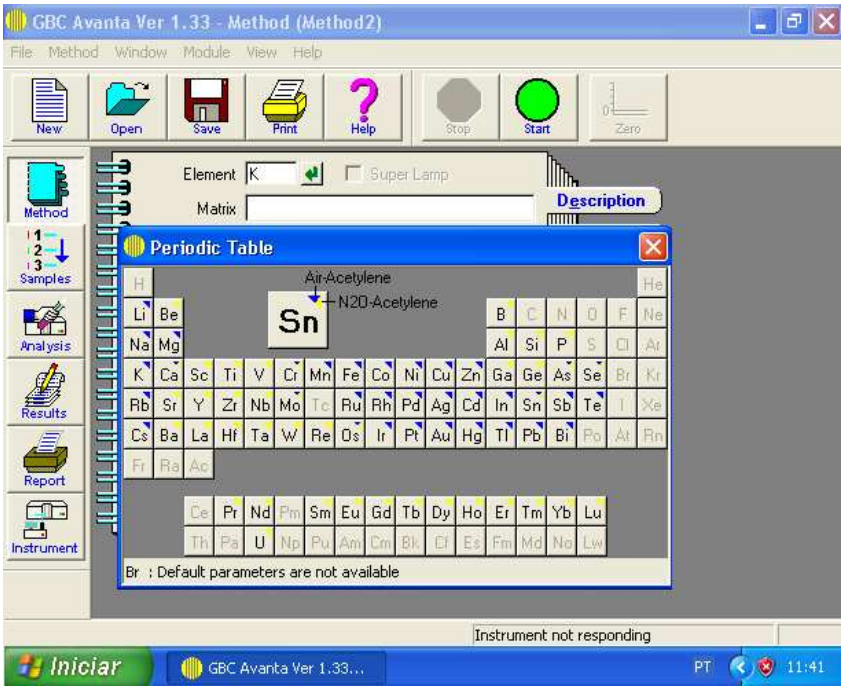


Figura 5.17 | Painel Method - Description.

5.4.6.6 | Clicar instrument

Inserir e verificar dados no painel (Figura 5.18):

Lamp Current (mA);

Wavelength (nm);

Slit Width (nm).

Figura 5.18 | Painel Method - Instrument.

5.4.6.7 | Clicar Measurement - Integration

Verificar dados no painel (Figura 5.19):

Measurement Mode Integration;

Read Time (s) 3,0;

Time Constant 0,0;

Replicates 3.

Figura 5.19 | Painel Method - Measurement.

5.4.6.8 | Clicar calibration.

Verificar dados no painel (Figura 5.20):

Calibration Mode;

Conc Units µg/mL;

Conc Decimal Places 3.

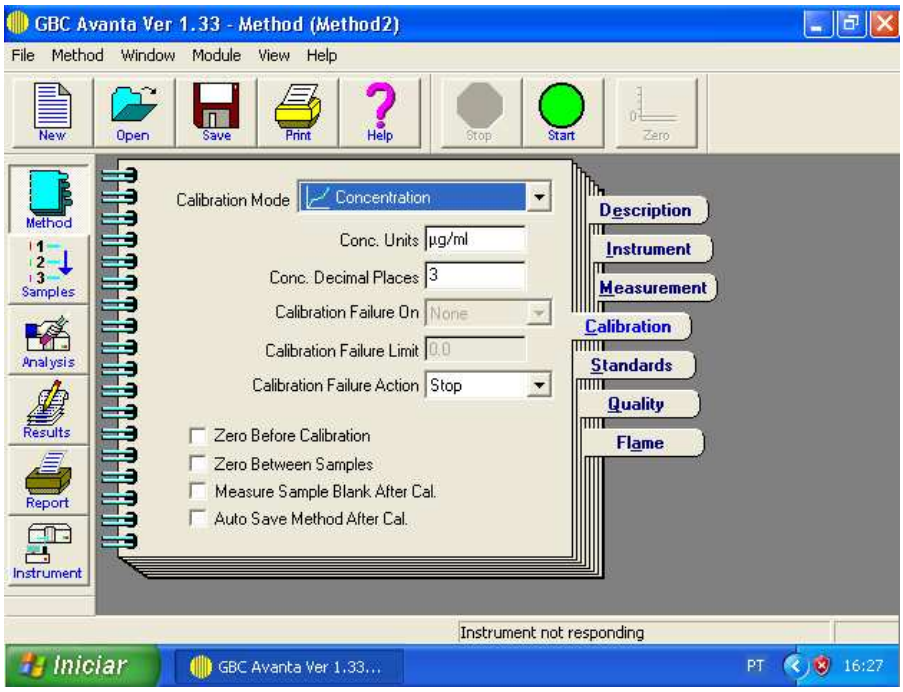


Figura 5.20 | Painel Method - Calibration.

5.4.6.9 | Clicar standards

Inserir solução para ensaio em branco.

Inserir padrões, P1, P2, P3, P4 e P5 do elemento escolhido e inscrever as respectivas concentrações (Figura 5.21).

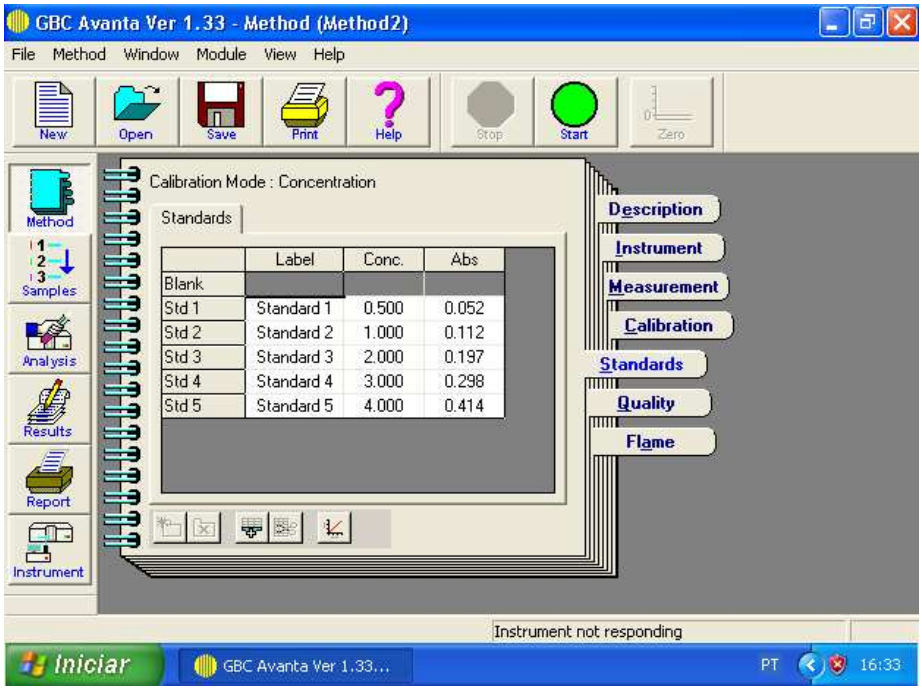


Figura 5.21 | Painel Method - Standards.

5.4.6.10 | Verificar a gama de concentrações adequadas

Clicar Method - Quality (Pré-Programado)

No painel “Sample” aparece (Figura 5.22):

Enable Concentration Range Checking;

Minimum Concentration 0,001;

Low Fail Action STOP;

Maximum Concentration 100 000.

Figura 5.22 | Painel Method - Quality.

5.4.6.11 | Verificar o tipo de chama e os caudais (L/min) do comburente e do combustível

Clicar Method-Flame (Figura 5.23).

Figura 5.23 | Painel Method - Flame.

5.4.6.12 | Clicar samples

Inserir conjunto de amostras (Máximo 50).

Clicar em Add button (botão de adição existente na parte inferior do painel).

Inserir a 1ª amostra. Escrever o nome e data respectiva.

Repetir a alínea anterior sucessivamente, até à última amostra, introduzindo de 10 em 10 amostras um “Branco” ou um padrão intermédio (Figura 5.24).

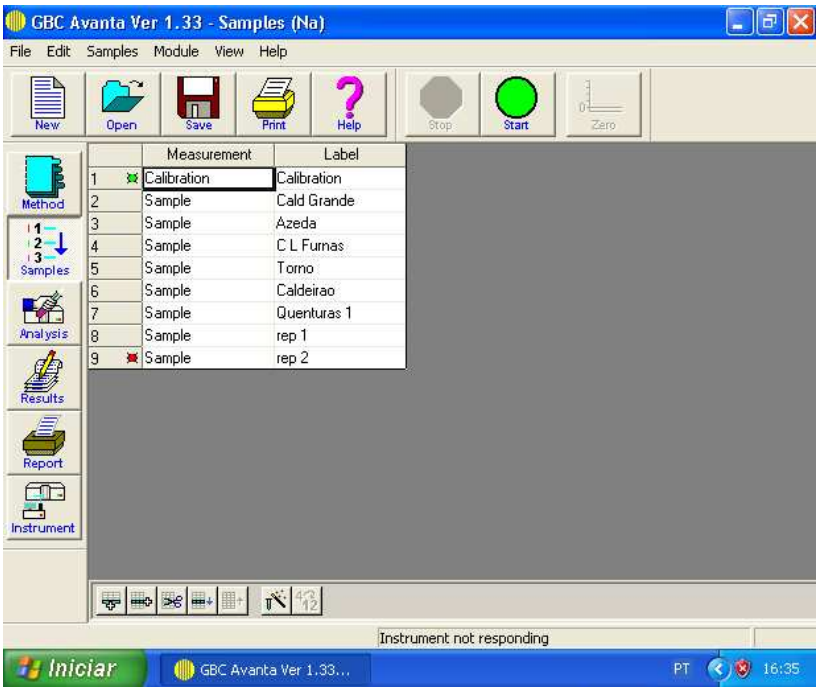


Figura 5.24 | Painel Samples.

5.4.6.13 | Clicar analysis (pré-programado)

Permite saber onde estão registados no disco rígido os ficheiros (Files) (Figura 5.25).

Files:

Method Name;

Samples Name;

Results Name.

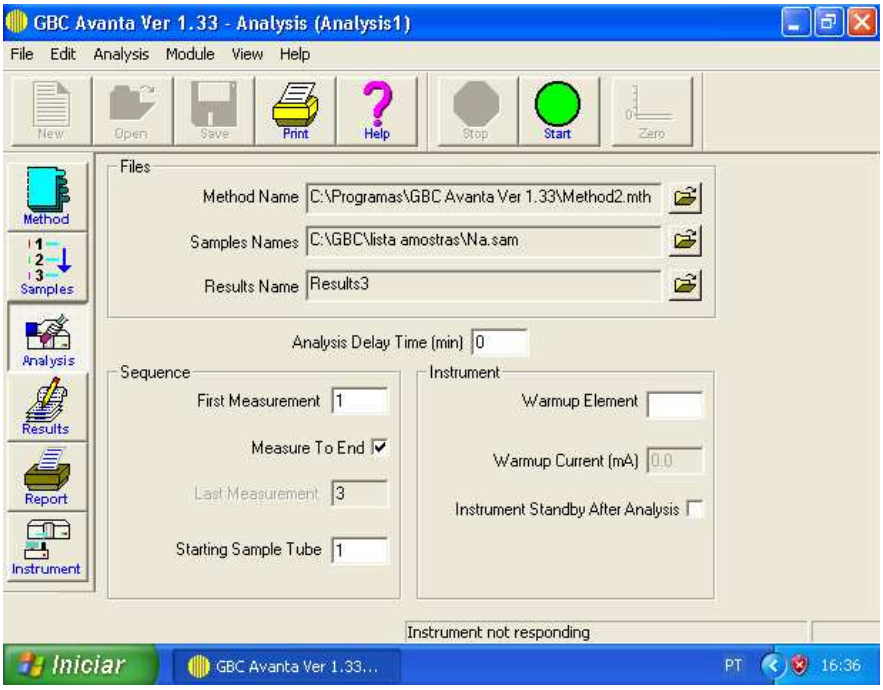


Figura 5.25 | Painel Analysis.

5.4.6.14 | Acertar a direcção do feixe de luz

Acertar direcção do feixe de luz, relativamente à entrada na "câmara"e ao queimador. Com um alvo onde está desenhada a abertura da "câmara" interceptar o feixe. Utilizar os botões verticais e horizontais de modo a que o feixe incida sobre a marca do alvo.

5.4.6.15 | Clicar instrument

Clicar duas vezes sobre o queimador.

Aparece o painel Status Panel-Gas Flows Optimisation, o qual permite optimizar os caudais do comburente e do combustível; quando estes são ajustados e se fecha este painel os dados são transferidos automaticamente para a página Flame e assim são salvos (Figuras 5.26 e 5.27).

Figura 5.26 | Painel Instrument

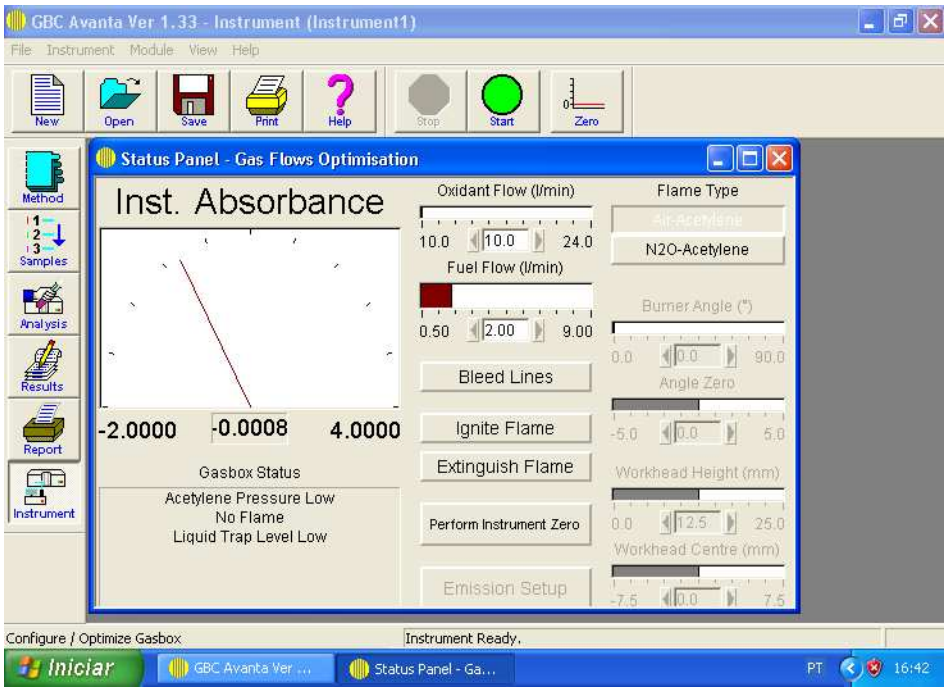


Figura 5.27 | Painel Status Panel - Gas Flows Optimisation.

5.4.6.16 | Verificar as pressões dos gases

Ligar os gases e ver pressões recomendadas nos respectivos manómetros.

5.4.6.17 | Ligar a chama

Clicar em Ignite Flame.

Aparece a chama no queimador.

5.4.6.18 | Clicar results

Clicar zero para verificar procedimentos correctos feitos nos passos anteriores.

Clicar START (Figura 5.28).

Inserir os padrões através do tubo capilar ligado ao nebulizador. O aparelho pede os padrões para traçar recta de calibração.

Verificar recta de calibração, clicando em FULL CALIBRATION.

Inserir a 1ª amostra e sucessivamente as outras, à medida que é solicitado no painel, até à última amostra.

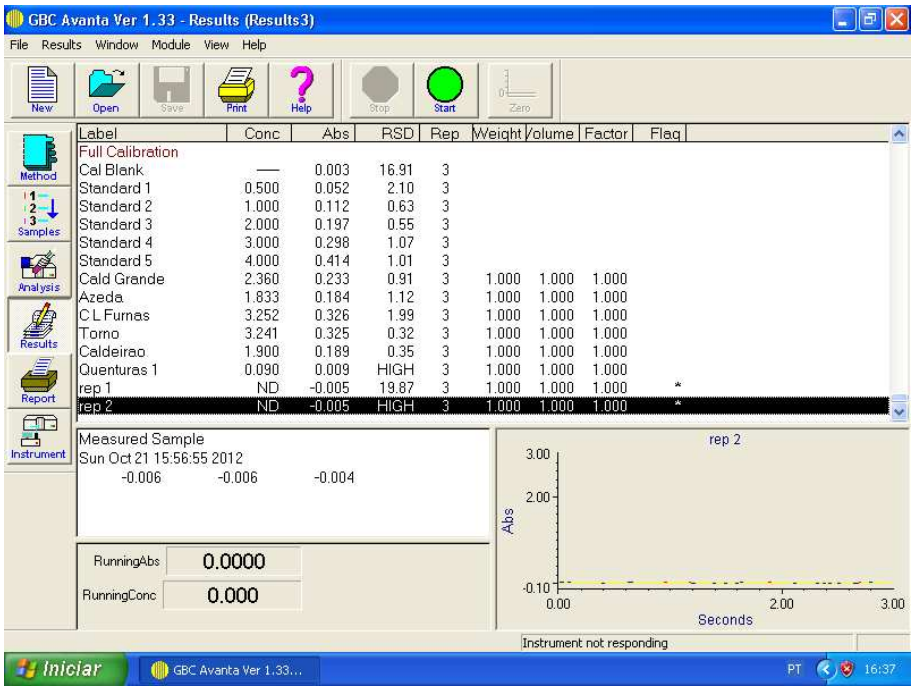


Figura 5.28 | Painel Results.

5.4.6.19 | Relatório final

Clicar REPORT.

Selecção de itens a incluir no relatório (Figura 5.29):

Gráficos de Calibração (Include Calibration Graph);

Parâmetros do Método (Include Method Parameters);

W (Include Weigts and Volumes);

Replicações (Include Replicates);

Clicar Print - Impressão relatório.

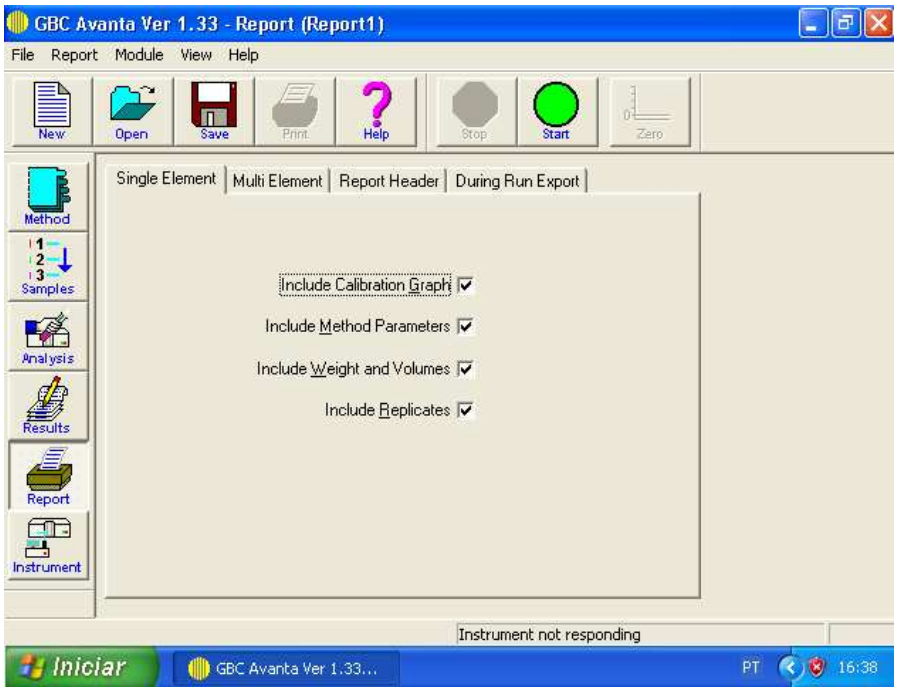


Figura 5.29 | Painel - Report.

5.4.6.20 | Desligar aparelho

Clicar em Status Panel - Gás Flows.

Fechar os gases na garrafa e no manípulo do ar forçado.

Clicar em Bleed Lines para retirar os gases do aparelho.

Desligar o computador.

Desligar o aparelho.

6 | CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES, DE TRÁS-OS-MONTES E DA GALIZA

A Hidrogeoquímica estuda a composição química das águas naturais, bem como as suas variações, determinadas por causas naturais ou antropogénicas (Appelo & Postman, 1993; Drever, 1997;. Keheww, 2001; Langmuir, 1997).

Uma das vias para se compreender os processos geoquímicos que ocorrem num dado sistema vulcânico é estudar o quimismo da água, analisando as substâncias nela contidas, pois a composição química da água subterrânea depende, entre outros factores modificadores, da interacção água-rocha, ocorrida durante a sua permanência nas massas de água (Cruz, 1992).

Em regiões vulcânicas têm sido desenvolvidos diversos estudos hidrogeoquímicos. Um exemplo concreto corresponde aos estudos levados a cabo em rios que drenam áreas basálticas *s.l.*, de forma a analisar os ciclos geoquímicos dos elementos e o consumo de CO_2 atmosférico (Gíslason *et al*., 1996; Louvat, 1997). Na literatura científica podem ainda ser encontrados dados relativos à composição da água subterrânea em aquíferos basálticos (Almeida *et al*., 1984; Gíslason & Eugster, 1987; Silva, 1988; Wood & Fernandez, 1988; Gislason & Arnórsson, 1993; Join *et al*., 1997; Allard *et al*., 1997; Cruz & Silva, 2000; Aiuppa *et al*, 2000; Weijden & Pacheco, 2003). Por seu turno, resultados relativos a aquíferos constituídos por rochas vulcânicas de natureza ácida são mais raros em publicações (Giggenbach, 1992).

Na região autónoma dos Açores a natureza vulcânica dos aquíferos é parcialmente influenciada pela dissolução de minerais primários nas rochas, reflectindo-se na composição química das águas subterrâneas (Cruz & França, 2001a; Cruz & Amaral, 2003, 2004). Neste contexto, a solubilização de iões depende da saturação relativamente aos minerais primários, da precipitação de minerais secundários e do comportamento aquoso de cada elemento, que podem conduzir à formação de espécies solúveis ou insolúveis (Aiuppa *et al*., 2000). No entanto, como em qualquer área, a composição química da água depende de outros factores tais como o tipo de rocha vulcânica, o tempo de residência da água no aquífero, a composição da chuva, o clima, a pressão e a temperatura (Custódio, 1989). Para além dos processos naturais, o efeito da actividade antropogénica também tem influência na determinação da composição química da água. Como em qualquer região insular, nas ilhas que constituem os Açores a química da água subterrânea é ainda parcialmente controlada pela interacção com a água do mar (Cruz & Silva, 2000; Cruz, 2001; Kim *et al*., 2003).

É de salientar que a composição química da água subterrânea é controlada pelo tipo e quantidade de espécies dissolvidas em função do equilíbrio termodinâmico estabelecido no sistema, nomeadamente da dissolução dos minerais constituintes das rochas e da precipitação de minerais de neoformação (Cruz, 1992). Deste modo, a composição inicial das águas subterrâneas será de origem meteórica e a composição final derivará das reacções com minerais e gases, bem como da actuação de fenómenos modificadores (Carvalho, 1999).

O controle litológico da composição da água pode ser investigado com base na relação entre o conteúdo catiónico desta e o relativo às rochas. Como exemplo, refira-se que basaltos ricos em olivina apresentam razões r(Mg+Ca)/r(Na+K) superiores a 10, enquanto rochas de natureza ácida têm valores, para o mesmo índice, menores que 0,1 (Custódio, 1989). Noutro estudo, Grunberger *et al*. (1988) propuseram a razão entre as actividades do ião Mg^{2+} e de H_4SiO_4 para proceder à discriminação entre águas subterrâneas cujo circuito se faça em aquíferos basálticos, ou quando estes são formados por rochas mais evoluídas.

A influência da dissolução das rochas vulcânicas na composição aniónica relativa é, geralmente, limitada, e em climas húmidos, como os Açores às espécies $HCO_3^-+CO_3^{2-}$ devido à dissolução de CO_2 no solo (Custódio, 1989). Porém, a contribuição marinha pode muitas vezes acarretar um enriquecimento em cloreto, e um estudo levado a cabo em Santa Maria demonstrou que as águas com maior conteúdo naquele anião foram amostradas nas áreas mais expostas aos ventos dominantes (Cruz *et al*., 1992).

Em regiões de vulcanismo activo, a ocorrência de sistemas hidrotermais em profundidade afecta, igualmente, a composição química das águas de circulação mais superficiais. A contaminação destas por águas termais, vapor e gases, que ascendem da profundidade, é o principal factor de alteração do quimismo. É frequente existirem grandes quantidades de CO_2 e algum H_2S que provocam uma rápida alteração e dissolução das rochas, especialmente a temperaturas elevadas (Carvalho, 1999). A ascensão de formas reduzidas de enxofre também pode originar águas enriquecidas em sulfatos, e com um valor de pH muito baixo (Nordstrom *et al*., 2009 Varekamp *et al*, 2009 & Cruz *et al*., 2010).

Outro factor que influencia o quimismo da água é a existência de relevo acentuado, factor bastante frequente em regiões vulcânicas. Neste caso, a pluviosidade nas zonas altas é muito maior e as condições de infiltração podem ser

favoráveis, o que traduz maior recarga e consequentemente águas menos mineralizadas (Carvalho, 1999).

Neste trabalho levou-se a cabo um exaustivo levantamento dos pontos de águas minerais, em todas as ilhas do arquipélago dos Açores onde ocorrem estes fluídos, em campanhas que decorreram entre 2009 e 2010; os resultados obtidos para as ilhas de São Miguel, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores, encontram-se listados em tabelas, as quais servirão de base à caracterização hidrogeoquímica (Anexos A - IV e V).

Elaboraram-se mapas temáticos para cada ilha do arquipélago dos Açores, relativos aos pontos de água mineral respectivos e identificados pela sua referência númérica, para cada um dos parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutibilidade eléctrica e CO_2 livre), dos elementos maiores, quer catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}), dos elementos maiores, quer aniões (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-), e da SiO_2. Os valores que figuram em cada um dos mapas são os valores médios obtidos a partir das análises que se encontram na base de dados "Hydrovulc restrita 2000" , circunscritas, apenas, ao século XXI (Anexo B).

A base Hydrovulc foi criada para concentrar a informação recolhida e validada de dados históricos e recentes relativos às águas minerais dos Açores. Com esta base de dados é possível aceder aos parâmetros físico-químicos, conhecidos actualmente das águas minerais do arquipélago dos Açores, acrescentar e/ou modificar valores relativos a esses parâmetros, bem como alargar essa base a novos pontos de água mineral (Freire, 2006; Freire *et al.*, 2008).

Para mais fácil leitura dos mapas utilizou-se, para cada ilha, uma escala diferente, igual para todas as grandezas respeitantes à mesma ilha. No caso da ilha de São Miguel de escala geral 1:115000, dado o número elevado de pontos de água mineral, elaborou-se ainda um mapa - zoom, relativo à hidrópole das Furnas, com uma escala de 1:10000 (Anexo C).

6.1 | PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Os parâmetros físico-químicos relativos ao dos pontos de água mineral estudados, nomeadamente a temperatura, a condutividade eléctrica, o pH, a alcalinidade, e o CO_2 livre, sofreram um tratamento estatístico. Para o efeito, distribuíram-se os pontos de água mineral pelas massas de água onde estão localizados, nas diferentes ilhas onde ocorrem, acrescentando para cada parâmetro, o valor obtido considerando o total de amostras em cada uma das ilhas. Para cada parâmetro, indica-se o número de amostras, a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana (Tabelas 6.1 a 6.7).

6.1.1 | ILHA DE SÃO MIGUEL

Na Tabela 6.1 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral da ilha de São Miguel, distribuídos pelas massas de água onde se localizam, respectivamente Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido em cada uma das massas de água e no total da ilha, bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, que apresentam um máximo de 99,80 ºC (Caldeira Grande - Ref. 9), um mínimo de 14,60 ºC (Camarça - Ref. 45), uma média de 43,84 ºC e uma mediana de 38,70 ºC. Na massa de água, Água de Pau foram analisadas 26 amostras que apresentaram um máximo de temperatura de 91,10 ºC (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), um mínimo de 13,20 ºC (Lombadas "doce" - Ref. 63), uma média de 31,95 ºC e uma mediana de 26,65 ºC. Para a massa de água Sete Cidades foram analisadas seis amostras, com um máximo de 62,50 ºC, um mínimo 33,30 ºC, uma média de 52,03 e uma mediana de 57,8 ºC. Observa-se, ainda, que é nesta massa de água onde se encontram temperaturas mais próximas entre si (menor desvio padrão, 12,41 ºC), evidenciado também pelo facto do valor médio da temperatura das seis amostras analisadas (52,03 ºC), se aproximar da mediana (57,80 ºC). Na ilha de São Miguel foram analisadas 84 amostras, sendo que o máximo e o mínimo, respectivamente 99,80 ºC (Caldeira Grande - Ref. 9) e 13,20 ºC (Lombadas "doce" - Ref. 63) pertencem respectivamente à massa de água Furnas - Povoação e à massa de água, Água de Pau.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, tendo sido observado um máximo de

2590,00 µS/cm (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), um mínimo de 139,00 µS/cm (Água Azeda da Povoação - Ref. 52), uma média de 913,00 µS/cm e uma mediana de 670 µS/cm, o que configura uma grande dispersão de valores. Na massa de água, Água de Pau foram analisadas 26 amostras, com um máximo de 10800,00 µS/cm (FC2_Bel Portugal - Ref. 75), um mínimo de 122,00 µS/cm (Lombadas "doce" - Ref. 63), uma média de 940,73 µS/cm e uma mediana 377 µS/cm. O valor do desvio padrão (2103,97 µS/cm), superior ao dobro do valor da média, leva a concluir que a distribuição destes valores de condutividade se afasta muito de uma curva de Gauss. Na massa de água Sete Cidades foram analisadas cinco amostras, com um valor máximo de 34300,00 µS/cm [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], um mínimo de 4640,00 µS/cm (Ferraria II - Ref.81), uma média de 18948,00 µS/cm e uma mediana de 18500 µS/cm que permite inferir que é nesta massa de água onde a mineralização das águas é maior. Na ilha de São Miguel foram analisadas 83 amostras, observando-se um máximo de 34300,00 µS/cm [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83] e um mínimo de 122,00 µS/cm (Lombadas "doce" - Ref. 63), pertencentes respectivamente às massas de água, das Sete Cidades e de Água de Pau. O valor do desvio padrão (5225,09 µS/cm) é superior ao dobro do valor da média (2007,88 µS/cm), o que espelha a grande diversidade da mineralização dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, apresentando um valor máximo de 7,90 (Ribeira Quente II - Ref. 48), valor ligeiramente alcalino, um mínimo de 2,10 (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), valor muito ácido, uma média de 5,94 e uma mediana de 5,95. Na massa de água, Água de Pau foram analisadas 26 amostras, com um valor máximo de pH igual a 6,36 (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74), um mínimo de 2,09 (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), uma média de 4,93 e uma mediana de 5,20. Para a massa de água Sete Cidades foram analisadas cinco amostras, com um pH máximo de 6,56 (São Lázaro - Ref. 85), um mínimo de 5,90 (Mosteiros - Ref. 84), uma média e uma mediana respectivamente iguais a 6,21 e 6,10. Na ilha de São Miguel foram analisadas 83 amostras, sendo que o máximo observado (7,90) pertence à massa de água Furnas - Povoação e o mínimo (2,09) pertence à massa de água, Água de Pau. A média de pH igual a 5,64 mostra que os pontos de água mineral na ilha de São Miguel são francamente ácidos.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, com um valor médio de 310,54 mg/L, um máximo de 929,00 mg/L (Banhos Férreos II - Ref. 24), um mínimo de 11,50 mg/L. (Caldeira dos Inhames - Ref. 43) e uma mediana de 195,50 mg/L. Na massa de água,

Água de Pau foram analisadas 22 amostras, com uma média de 107,57 mg/L, um máximo 304,10 mg/L (FC2_Bel Portugal - Ref. 75), um mínimo 19,50 mg/L (Ribeira das Gramas - Ref. 59) e uma mediana de 72,25 mg/L. Na massa de água Sete Cidades, foram analisadas seis amostras, com um valor médio de 426,10 mg/L, um máximo de 498,40 mg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], um mínimo de 349,50 mg/L (Ferraria II - Ref. 81) e uma mediana 432,34 mg/L. Na ilha de São Miguel foram analisadas no total 83 amostras, com um valor máximo 929,00 mg/L e mínimo de 11,50 mg/L, ambos observados na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio de alcalinidade mais elevado regista-se na massa de água Sete Cidades e o mais reduzido na massa de água, Água de Pau, o que está de acordo com os valores médios de pH observados anteriormente, e que são respectivamente iguais a 6,21 e 4,93. O valor médio da alcalinidade na massa de água Furnas - Povoação é intermédio relativamente aos referidos anteriormente e o pH também (5,94). Na massa de água Sete Cidades encontra-se maior uniformidade de valores de alcalinidade, teor mais elevado em HCO_3^-, como o atestam o relativamente pequeno desvio padrão (67,48 mg/L) e os valores próximos para a média e mediana, respectivamente iguais a 426,10 mg/L e 432,34 mg/L.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas 51 amostras na massa de água Furnas - Povoação, com uma média de 387,55 mg/L, um máximo igual 1264,20 mg/L (Água Azeda do Rebentão - Ref. 5), um valor mínimo de 2,90 mg/L (Quenturas II - Ref. 13) e uma mediana igual a 335,80 mg/L. Na massa de água, Água de Pau foram analisadas 24 amostras, com uma média de 508,72 mg/L, um valor máximo de 1067,20 mg/L (Lombadas - Ref. 60), um mínimo de 18,20 mg/L (Lombadas "doce" - Ref. 63) e uma mediana de 504 mg/L. Na massa de água Sete Cidades foram analisadas quatro amostras com, um média igual a 225,45 mg/L, um máximo igual a 307,10 mg/L (Mosteiros - Ref. 84), um mínimo de 134,80 mg/L (Ferraria II - Ref. 81) e com uma mediana 229,95 mg/L. Na ilha de São Miguel foram analisadas 79 amostras de água mineral, com um valor máximo igual a 1264,20 mg/L e um valor mínimo igual a 2,90 mg/L, ambos observados na massa de água Furnas - Povoação. As massas de água, Água de Pau, Furnas - Povoação e Sete Cidades apresentam valores médios de CO_2 livre decrescentes, o que se traduz por uma tendência da acidez decrescente, isto é, valores médios de pH crescentes, respectivamente iguais a 4,94, 5,94 e 6,21.

Tabela 6.1 | Parâmetros físico-químicos para a ilha de São Miguel: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Furnas - Povoação	52	43,84	27,26	99,80	14,60	38,70
	Água de Pau	26	31,95	18,98	91,10	13,20	26,65
	Sete Cidades	6	52,03	12,41	62,50	33,30	57,80
	Ilha de São Miguel	**84**	**40,75**	**24,78**	**99,80**	**13,20**	**37,00**
Condutividade (µS/cm)	Furnas - Povoação	52	913,00	646,76	2590,00	139,00	670,00
	Água de Pau	26	940,73	210,84	10800,00	122,00	377,00
	Sete Cidades	5	18948,00	12043,94	34300,00	4640,00	18500,00
	Ilha de São Miguel	**83**	**2007,88**	**5225,09**	**34300,00**	**122,00**	**501,00**
pH	Furnas - Povoação	52	5,94	1,07	7,90	2,10	5,95
	Água de Pau	26	4,93	1,12	6,36	2,09	5,20
	Sete Cidades	5	6,21	0,27	6,56	5,90	6,10
	Ilha de São Miguel	**83**	**5,64**	**1,16**	**7,90**	**2,09**	**5,85**
Alcalinidade (mg/L)	Furnas - Povoação	50	310,54	273,87	929,00	11,50	195,50
	Água de Pau	22	107,57	90,51	304,10	19,50	72,25
	Sete Cidades	6	426,10	67,48	498,40	349,50	432,34
	Ilha de São Miguel	**78**	**262,18**	**246,38**	**929,00**	**11,50**	**185,50**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Furnas - Povoação	51	387,55	329,30	1264,20	2,90	335,80
	Água de Pau	24	508,72	280,79	1067,20	18,20	504,00
	Sete Cidades	4	225,45	70,77	307,10	134,80	229,95
	Ilha de São Miguel	**79**	**416,16**	**313,03**	**1264,20**	**2,90**	**376,20**

6.1.2 | ILHA TERCEIRA

Na Tabela 6.2 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral da ilha Terceira, distribuídos pelas massas de água onde se localizam, respectivamente Biscoitos - Terra Chã, Santa Bárbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Central. Para cada parâmetro, indica-se o número de amostras obtido em cada uma das massas de água e no total da ilha, bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas cinco amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã que apresentam um máximo de 38,30 ºC (Furo de Angra - Ref. 116), um mínimo de 14,80 ºC (Tomo do Porto - Ref. 112), uma média de 21,12 ºC e uma mediana de 16,8 ºC. Nas massas de água, Santa Bárbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Central foi analisada uma amostra em cada uma, com temperatura respectivamente igual a 23,50 ºC (Serreta II - Ref. 108), a 22,10 ºC (Água Santa - Ref. 109) e a 21,70 ºC (Silveira - Ref. 110). Na ilha Terceira

foram analisadas oito amostras, sendo que o máximo e o mínimo, respectivamente iguais a 38,30 ºC e 14,80 ºC pertencem à massa de água Biscoitos - Terra Chã.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas cinco amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, tendo sido observado um máximo de 15440,00 µS/cm (Negrito - Ref. 114), um mínimo de 401,00 µS/cm (Tomo do Porto - Ref. 112), uma média de 4755,40 µS/cm, uma mediana de 1966,08 µS/cm e um desvio padrão de 6321,02 o que configura uma grande dispersão de valores. Foi analisada uma amostra, em cada uma das massas de água, Santa Bárbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Central com valores de condutividade, respectivamente iguais a 17200,00 µS/cm (Serreta II - Ref. 108), a 1982,00 µS/cm (Água Santa - Ref. 109) e a 4600,00 µS/cm (Silveira - Ref. 110). Na ilha Terceira foram analisadas oito amostras, observando-se um máximo de 17200,00 µS/cm e um mínimo de 401,00 µS/cm, pertencentes respectivamente às massas de água, Santa Bárbara Inferior e Biscoitos - Terra Chã.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas cinco amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando um valor máximo de 7,87 (Tomo do Porto - Ref. 112), valor ligeiramente alcalino, um mínimo de 6,31 (Bravio - Ref. 111), valor pouco ácido, e uma média de 7,07. O valor da mediana é igual a 7,10. Na massas de água, Santa Bárbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Central foi analisada uma amostra, em cada uma, com valores de pH respectivamente iguais a 5,80 (Serreta II - Ref. 108), a 5,75 (Água Santa - Ref. 109) e a 6,54 (Silveira - Ref. 110). Na ilha Terceira foram analisadas oito amostras, sendo que o máximo observado (7,87) pertence à massa de água Biscoitos - Terra Chã e o mínimo (5,75) pertence à massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras. A média de pH igual a 6,68 mostra que os pontos de água mineral na ilha Terceira são fracamente ácidos.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, com um valor médio de 81,25 mg/L, um máximo de 135,50 mg/L (Bravio - Ref. 111) e um mínimo de 28,00 mg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113). O valor da mediana cifra-se nos 80,75 mg/L. Na massa de água, Santa Bárbara Inferior foram analisadas duas amostras, com uma média e mediana de 523,75 mg/L, um máximo 555,00 mg/L (Serreta I - Ref. 115) e um mínimo 492,50 mg/L (Serreta II - Ref. 108). Na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras e na massa de água Central foi analisada uma amostra, em cada, apresentando valores respectivamente iguais a 111,00 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e 167,50 mg/L (Silveira - Ref. 110). Na ilha Terceira foram analisadas no total oito amostras, com um valor

máximo 555,00 mg/L, mínimo de 28,00 mg/L, observados na massa de água Santa Bárbara Inferior e Biscoitos - Terra Chã, respectivamente.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, com uma média de 19,73 mg/L, um valor máximo igual 55,10 mg/L (Bravio - Ref. 111) e um valor mínimo de 2,00 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e um valor de mediana igual a 10,90 mg/L. Nas massas de água, Santa Bárbara Inferior, Labaçal - Quatro Ribeiras e Central foram analisadas três amostras, uma por cada uma das massas de água citadas, com valores respectivamente iguais a 581,00 mg/L (Serreta II - Ref. 108), 208,20 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e 41,70 mg/L (Silveira - Ref. 110). Na ilha Terceira foram analisadas no total sete amostras de água mineral, com um valor médio igual a 129,97 mg/L, um valor máximo igual a 581,00 mg/L e um valor mínimo igual a 2,00 mg/L, observados respectivamente na massa de água Santa Bárbara Inferior e Biscoitos - Terra Chã. O valor de 211,24 mg/L para o desvio padrão configura grande dispersão de valores.

Tabela 6.2 | Parâmetros físico-químicos para a ilha Terceira: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Biscoitos - Terra Chã	5	21,12	9,80	38,30	14,80	16,80
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	23,50	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	22,10	-	-
	Central	1	-	-	21,70	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**21,61**	**7,46**	**38,30**	**14,80**	**20,85**
Condutividade (µS/cm)	Biscoitos - Terra Chã	5	4755,40	6321,02	15440,00	401,00	1966,00
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	17200,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	1982,00	-	-
	Central	1	-	-	4600,00	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**5944,88**	**6666,40**	**17200,00**	**401,00**	**3291,00**
pH	Biscoitos - Terra Chã	5	7,07	0,58	7,87	6,31	7,10
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	5,80	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	5,75	-	-
	Central	1	-	-	6,54	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**6,68**	**0,73**	**7,87**	**5,75**	**6,67**
Alcalinidade (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	81,25	47,82	135,50	28,00	80,75
	Santa Bárbara Inferior	2	523,75	-	555,00	492,50	523,75
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	111,00	-	-
	Central	1	-	-	167,50	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**206,38**	**201,25**	**555,00**	**28,00**	**123,25**

	Biscoitos - Terra Chã	4	19,73	24,34	55,10	2,00	10,90
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	581,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	208,20	-	-
	Central	1	-	-	41,70	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**129,97**	**211,24**	**581,00**	**2,00**	**41,70**

6.1.3 | ILHA GRACIOSA

Na Tabela 6.3 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral da ilha Graciosa, distribuídos pelas massas de água onde se localizam, respectivamente Compósito e Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido em cada uma das massas de água e no total da ilha, bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim relativamente ao parâmetro temperatura, foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito que apresentam um máximo de 56,20 ºC (Homiziados - Ref. 104), um mínimo de 25,30 ºC (Carapacho PS1 - Ref. 101), uma média de 39,31 ºC e uma mediana de 38,50 ºC e na massa de água Plataforma de Santa Cruz -Guadalupe foram analisadas duas amostras com um máximo de 38,00 ºC (Corelas - Ref. 106) e um mínimo de 27,70 ºC (Pontal - Ref. 107). A média e a mediana têm igual valor, sendo este de 32,85 ºC. Na ilha Graciosa foram analisadas nove amostras, média de 37,88 ºC, sendo que o máximo e o mínimo, respectivamente iguais a 56,20 ºC e 25,30 ºC pertencem ambos à massa de água Compósito.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica, foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, tendo sido observado um máximo de 53000,00 µS/cm (Carapacho PS1 - Ref. 101), um mínimo de 10940,00 µS/cm (Carapacho PS2 - Ref. 102), uma média de 28942,86 µS/cm, uma mediana de 22800,00 µS/cm e um desvio padrão de 17136,98 µS/cm, o que configura uma grande dispersão de valores. Na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe foram analisadas duas amostras com um valor, de condutividade eléctrica, máximo de 6640,00 µS/cm (Corelas - Ref. 106), um valor mínimo de 3620,00 µS/cm (Pontal - Ref. 107). A média e a mediana apresentam igual valor, com 5130,00 µS/cm. Na ilha Graciosa foram analisadas nove amostras, observando-se um máximo de 53000,00 µS/cm e um mínimo de 3620,00 µS/cm, pertencentes, respectivamente às massas de água, Compósito e Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito apresentando um valor máximo de 7,14 (Carapacho PS1 - Ref. 101), valor ligeiramente alcalino, um mínimo de 6,32 (Homiziados I - Ref. 104), valor pouco ácido, e uma média de 6,65. O valor da mediana é igual a 6,59. Para semelhante parâmetro químico foram analisadas duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com um valor máximo igual a 7,04 (Pontal - Ref. 107), um valor mínimo igual a 4,79 (Corelas - Ref. 106). A média e a mediana apresentam igual valor, com 5,92. Na ilha Graciosa foram analisadas nove amostras, sendo que o máximo observado (7,14) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (4,79) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito com um valor médio de 650,64 mg/L, um máximo de 885,00 mg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), um mínimo de 266,50 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101), e uma mediana de 717,5 mg/L. Na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe para idêntico parâmetro, foram analisadas duas amostras, com uma média e mediana de 37,50 mg/L, um máximo 65,00 mg/L (Pontal - Ref. 107), e um mínimo 10,00 mg/L (Corelas - Ref. 106). Na ilha Graciosa foram analisadas no total nove amostras, com um valor máximo 885,00 mg/L e mínimo de 10,00 mg/L, observados na massa de água Compósito e Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, respectivamente.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, com uma média de 184,73 mg/L, um valor máximo igual 477,00 mg/L (Homiziados I - Ref. 104), um valor mínimo de 53,20 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101) e um valor de mediana de 185,00 mg/L. Na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, para similar parâmetro, foram analisadas duas amostras, com um máximo de 1175,40 mg/L (Corelas - Ref. 106) e um mínimo de 4,50 mg/L (Pontal - Ref. 107). A média e a mediana têm igual valor, sendo este de 589,95 mg/L. Na ilha Graciosa foram analisadas nove amostras de água mineral, com um valor médio igual a 274,78 mg/L, um valor máximo igual a 1175,40 mg/L e um valor mínimo igual a 4,50 mg/L, observados respectivamente na massa de água Compósito e na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

Tabela 6.3 | Parâmetros físico-químicos para a ilha Graciosa: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Compósito	7	39,31	9,03	56,20	25,30	38,50
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	32,85	-	38,00	27,70	32,85
	Ilha da Graciosa	**9**	**37,88**	**9,28**	**56,20**	**25,30**	**38,00**
Condutividade (µS/cm)	Compósito	7	28942,86	17136,98	53000,00	10940,00	228000,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	5130,00	-	6640,00	3620,00	5130,00
	Ilha da Graciosa	**9**	**23651,11**	**19178,03**	**53000,00**	**3620,00**	**13100,00**
pH	Compósito	7	6,65	0,31	7,14	6,32	6,59
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	5,92	-	7,04	4,79	5,92
	Ilha da Graciosa	**9**	**6,49**	**0,71**	**7,14**	**4,79**	**6,59**
Alcalinidade (mg/L)	Compósito	7	650,64	181,48	885,00	266,50	717,50
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	37,50	-	65,00	10,00	37,50
	Ilha da Graciosa	**9**	**541,39**	**319,54**	**885,00**	**10,00**	**618,00**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Compósito	7	184,73	139,07	477,00	53,20	185,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	589,95	-	1175,40	4,50	589,95
	Ilha da Graciosa	**9**	**274,78**	**366,80**	**1175,40**	**4,50**	**185,00**

6.1.4 | ILHA DO FAIAL

Na Tabela 6.4 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral da ilha do Faial, distribuídos pelas massas de água onde se localizam, respectivamente Capelo e Cedros - Castelo Branco. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido em cada uma das massas de água e no total da ilha, bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim relativamente ao parâmetro temperatura foi analisada uma amostra na massa de água Capelo que apresenta um valor de 37,60 ºC (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco que apresentam uma temperatura máxima de 20,80 ºC (Varadouro PS4 - Ref. 91) e uma temperatura mínima de 18,00 ºC (Fajã - Ref. 92). O valor da média e da mediana são iguais a 19,40 ºC. Na ilha do Faial foram analisadas três amostras, média de 25,47 ºC, sendo que o máximo (37,60 ºC) pertence à massa de água Capelo e o mínimo (18,00 ºC) pertence à massa de água Cedros - Castelo Branco.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foi analisada uma amostra na massa de água Capelo, tendo sido observado um valor de 7170,00 µS/cm (Capelo AC4 - Ref. 90). Na massa de água Cedros - Castelo Branco, para semelhante parâmetro, foram analisadas duas amostras que apresentam um valor máximo de

9440,00 µS/cm (Varadouro PS4 - Ref. 91), um valor mínimo de 6060,00 µS/cm (Fajã - Ref. 92), uma média e uma mediana com um valor similar igual a 7750,00 µS/cm. Na ilha do Faial foram analisadas três amostras, observando-se um máximo de 9440,00 µS/cm e um mínimo de 6060,00 µS/cm, ambos pertencentes à massa de água Cedros - Castelo Branco.

Relativamente ao parâmetro pH, foi analisada uma amostra na massa de água Capelo que apresentou um valor de 6,17 (Capelo AC4 - Ref. 90) e na massa de água Cedros - Castelo Branco foram analisadas duas amostras que apresentam um valor máximo igual a 6,39 (Varadouro PS4 - Ref. 91) e um valor mínimo igual a 6,05 (Fajã - Ref. 92). O valor da média e da mediana são iguais a 6,22. Na ilha do Faial foram analisadas, ao todo, três amostras, sendo que o máximo (6,39) e o mínimo (6,05) observado pertencem à massa de água Cedros - Castelo Branco.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade, foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com um valor de 346,50 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco que apresentam um máximo igual a 332,00 mg/L (Fajã - Ref. 92) e um mínimo igual a 225,00 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91. A média e a mediana apresentam o mesmo valor, sendo este igual a 278,50 mg/L. Na ilha do Faial foram analisadas no total três amostras, com um valor máximo de 346,50 mg/L e mínimo de 225,00 mg/L, observados na massa de água Campelo e, na massa de água Cedros - Castelo Branco, respectivamente.

Quanto ao dióxido de carbono livre, foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com um valor de 199,00 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco, que apresentaram um valor máximo de 194,40 mg/L (Fajã - Ref. 92) e um valor mínimo de 142,50 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91). A média e a mediana têm igual valor de CO_2 livre com 168,45mg/L. Na ilha do Faial foram analisadas no total três amostras de água mineral, com um valor médio igual a 178,63 mg/L, um valor máximo de 199,00 mg/L e um valor mínimo de 142,50 mg/L, observados respectivamente na massa de água Capelo e na massa de água Cedros - Castelo Branco.

Tabela 6.4 | Parâmetros físico-químicos para a ilha do Faial: temperatura, condutividade eléctrica , pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Capelo	1	-	-	37,60	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	19,40	-	20,80	18,00	19,40
	Ilha do Faial	**3**	**25,47**	**-**	**37,60**	**18,00**	**20,80**
Condutividade (µS/cm)	Capelo	1	-	-	7170,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	7750,00	-	9440,00	6060,00	7550,00
	Ilha do Faial	**3**	**7556,67**	**1722,86**	**9440,00**	**6060,00**	**7170,00**
pH	Capelo	1	-	-	6,17	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	6,22	-	6,39	6,05	6,22
	Ilha do Faial	**3**	**6,20**	**0,17**	**6,39**	**6,05**	**6,17**
Alcalinidade (mg/L)	Capelo	1	-	-	346,50	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	278,50	-	332,00	225,00	278,50
	Ilha do Faial	**3**	**301,17**	**66,36**	**346,50**	**225,00**	**332,00**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Capelo	1	-	-	199,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	168,45	-	194,40	142,50	168,45
	Ilha do Faial	**3**	**178,63**	**31,38**	**199,00**	**142,50**	**194,40**

6.1.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Na Tabela 6.5 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral da ilha de São Jorge, localizados na massa de água Oriental. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido (coincidente com o total da ilha), bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim, relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental que apresentam um valor máximo de 22,30ºC (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), um valor mínimo de 14,40 ºC (Fajã dos Vimes I - Ref. 93), uma média e uma mediana, respectivamente iguais a 16,48 ºC e 14,60 ºC.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, tendo sido observado um valor máximo de 1116,00 µS/cm (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) e um valor mínimo de 190,00 µS/cm (Fajã dos Vimes II - Ref. 94), uma média e uma mediana respectivamente iguais a 424,00 µS/cm e 195,00 µS/cm.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas cinco amostras na massa de água Oriental que apresentam um valor máximo de 7,70 (Fajã do Nortezinho - Ref.

97), um valor mínimo de 5,17 (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), uma média e uma mediana com valores, respectivamente iguais a 5,88 e 5,52.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental, tendo sido observados um valor máximo de 120,00 mg/L (Fonte da Ponta da Forcada - Ref. 95), um valor mínimo de 51,00 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95), uma média e uma mediana iguais a 72,77 mg/L e 60,75 mg/L, respectivamente.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental que apresentam um máximo de 2407,00 mg/L (Fonte da Ponta da Forcada - Ref. 98), um mínimo de 2,70 mg/L (Fajã do Nortezinho - Ref. 97), uma média de 606,48 mg/L, um desvio padrão de 896,46 mg/L e uma mediana de 269,50 mg/L, o que configura uma grande dispersão de valores.

Tabela 6.5 | Parâmetros físico-químicos para a ilha de São Jorge: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Oriental	4	16,48	3,89	22,30	14,40	14,60
	Ilha de São Jorge	**4**	**16,48**	**3,89**	**22,30**	**14,40**	**14,60**
Condutividade (µS/cm)	Oriental	4	424,00	461,34	1116,00	190,00	195,00
	Ilha de São Jorge	**4**	**424,00**	**461,34**	**1116,00**	**190,00**	**195,00**
pH	Oriental	5	5,88	1,03	7,70	5,17	5,52
	Ilha de São Jorge	**5**	**5,88**	**1,03**	**7,70**	**5,17**	**5,52**
Alcalinidade (mg/L)	Oriental	6	72,77	26,98	120,00	51,00	60,75
	Ilha de São Jorge	**6**	**72,77**	**26,98**	**120,00**	**51,00**	**60,75**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Oriental	6	606,48	896,46	2407,00	2,70	269,50
	Ilha de São Jorge	**6**	**606,48**	**896,46**	**2407,00**	**2,70**	**269,50**

6.1.6 | ILHA DO PICO

Na Tabela 6.6 figuram os parâmetros físico-químicos de dois pontos de água mineral da ilha do Pico, ambos localizados na massa de água Piedade. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido (coincidente com o total da ilha), bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim, relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade que apresentam um valor máximo igual a 16,00

ºC (Santo Amaro - Ref. 89) e um valor mínimo igual a 24,60 ºC (Silveira - Ref. 88). O valor da média e da mediana são iguais a 15,90 ºC.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, tendo sido observados um valor máximo de 3980,00 µS/cm (Santo Amaro - Ref. 89) e um valor mínimo de 1705,00 µS/cm (Silveira - Ref. 88). O valor da média e da mediana são iguais a 2842,50 µS/cm.

Para a massa de água Piedade foram analisadas duas amostras, com um pH máximo de 6,86 (Santo Amaro - Ref. 89) e um pH mínimo de 6,35 (Silveira - Ref. 88). Os valores da média e mediana são iguais a 6,61.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, com uma média e uma mediana igual a 19,73 mg/L, um valor máximo igual a 252,00 mg/L (Silveira - Ref. 88) e um valor mínimo igual a 69,02 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89).

Quanto ao dióxido de carbono livre foi analisada apenas uma amostra na massa de água Piedade tendo sido observado o valor de 125 mg/L (Silveira - Ref. 88).

Tabela 6.6 | Parâmetros físico-químicos para a ilha do Pico: temperatura, condutividade eléctrica , pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Piedade	2	15,90	-	16,00	15,80	15,90
	Ilha do Pico	**2**	**15,90**	**-**	**16,00**	**15,80**	**15,90**
Condutividade (µS/cm)	Piedade	2	2842,50	-	3980,00	1705,00	2842,50
	Ilha do Pico	**2**	**2842,50**	**-**	**3980,00**	**1705,00**	**2842,50**
pH	Piedade	2	6,61	-	6,86	6,35	6,61
	Ilha do Pico	**2**	**6,61**	**-**	**6,86**	**6,35**	**6,61**
Alcalinidade (mg/L)	Piedade	2	160,51	-	252,00	69,02	160,51
	Ilha do Pico	**2**	**160,51**	**-**	**252,00**	**69,02**	**160,51**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Piedade	1	-	-	125,00	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**125,00**	**-**	**-**

6.1.7 | ILHA DAS FLORES

Na Tabela 6.7 figuram os parâmetros físico-químicos de dois pontos de água mineral da ilha das Flores, ambos localizados na massa de água Inferior. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido (coincidente com o total da ilha), bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Assim, relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo igual a 50,70 ºC, (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo igual a 24,60 ºC (Poio Moreno - Ref. 88). O valor da média e da mediana são iguais a 37,65 ºC.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, tendo sido observados um valor máximo de 1355,00 µS/cm (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo de 1243,00 µS/cm (Poio Moreno - Ref. 88). O valor da média e da mediana são iguais a 1299,00 µS/cm.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, com valores de pH, respectivamente iguais a 6,82 (Lajedo - Ref. 87), que corresponde ao valor máximo e 6,77 (Poio Moreno - Ref. 88), que corresponde ao valor mínimo. A média e a mediana são iguais a 6,80.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, que apresentam um máximo igual a 652,50 mg/L (Poio Moreno - Ref. 88) e um mínimo igual a 497,50 mg/L (Lajedo - Ref. 87). A média e a mediana apresentam o mesmo valor, sendo este igual a 575,00 mg/L.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo de 72,00 mg/L (Poio Moreno - Ref. 88), um valor mínimo de 60,50 mg/L (Lajedo - Ref. 87), uma média e mediana de 66,25 mg/L.

Tabela 6.7 | Parâmetros físico-químicos para a ilha das Flores: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre.

Parâmetros Físico - Químicos	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Inferior	2	37,65	-	50,70	24,60	37,65
	Ilha das Flores	**2**	**37,65**	**-**	**50,70**	**24,60**	**37,65**
Condutividade (µS/cm)	Inferior	2	1299,00	-	1355,00	1243,00	1299,00
	Ilha das Flores	**2**	**1299,00**	**-**	**1355,00**	**1243,00**	**1299,00**
pH	Inferior	2	6,80	-	6,82	6,77	6,80
	Ilha das Flores	**2**	**6,80**	**-**	**6,82**	**6,77**	**6,80**
Alcalinidade (mg/L)	Inferior	2	575,00	-	652,50	497,50	575,00
	Ilha das Flores	**2**	**575,00**	**-**	**652,50**	**497,50**	**575,00**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Inferior	2	66,25	-	72,00	60,50	66,25
	Ilha das Flores	**2**	**66,25**	**-**	**72,00**	**60,50**	**66,25**

6.2 | ELEMENTOS MAIORES: CATIÕES

As concentrações de catiões nos pontos de água mineral estudados, nomeadamente o sódio (Na^+), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}), tiveram um tratamento estatístico, com indicação para cada catião, do número de amostras, da média (mg/L), do desvio padrão (mg/L), dos valores máximo (mg/L) e mínimo (mg/L) e da mediana (mg/L), por ilha, por massa de água e para o total de amostras, em cada ilha do arquipélago dos Açores (Tabelas 6.8 a 6.14).

6.2.1 | ILHA DE SÃO MIGUEL

Relativamente ao sódio foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, 25 amostras na massa de água, Água de Pau e seis amostras na massa de água Sete Cidades, o que representa um total de 83 águas analisadas para a ilha de São Miguel (Tabela 6.8). O valor médio do teor de sódio nas amostras analisadas nas três massas de água permite logo constatar uma grande diferença da concentração daquele catião nos pontos de água mineral estudados. Assim, os pontos de água mineral da massa de água Sete Cidades, onde foram analisadas seis amostras, apresentam o teor em sódio mais elevado, com uma média de 3995,03 mg/L, um máximo de 6676,70 mg/L (Ferraria I - Ref. 80), um mínimo de 1735,48 mg/L (Ferraria II - Ref. 81) e uma mediana de 3870,80 mg/L. Por seu turno, as 25 amostras analisadas da massa de água, Água de Pau apresentam o mais baixo teor em sódio, com uma média de 51,10 mg/L, um valor máximo de 349,00 mg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74), um mínimo de 14,47 mg/L (Caldeira Velha nascente - Ref. 69) e uma mediana de 38,59 mg/L. O teor de sódio na massa de água Furnas - Povoação apresenta uma média de 140,33 mg/L, um máximo de 435,23 mg/L (Caldeira do Asmodeu - Ref. 11), um mínimo de 20,31 mg/L (Ribeira Quente III - Ref. 49) e uma mediana de 79,76 mg/L. Não é por isso de estranhar que as 83 amostras analisadas na ilha de São Miguel apresentem uma média significativa em sódio (389,22 mg/L), uma elevada dispersão de valores (desvio padrão igual 1121,51 mg/L) e uma mediana igual a 54,43 mg/L.

No que diz respeito ao potássio foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, 25 amostras na massa de água, Água de Pau e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, o que perfaz 82 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.8). O valor da média do teor de potássio das amostras das três massas de água é, respectivamente, igual a 24,92 mg/L, 15,96 mg/L e 293,19 mg/L,

para Furnas -Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, o que evidencia que a média na massa de água Sete Cidades é não só elevada, como muito distinta da observada nas restantes massas de água. Na massa de água Furnas - Povoação regista-se um máximo de 75,88 mg/L (Caldeira dos Tambores - Ref. 41), um mínimo de 4,60 mg/L (Água Azeda da Povoação - Ref. 52) e uma mediana de 20,82 mg/L. Na massa de água, Água de Pau o teor de potássio apresenta o menor valor médio (15,96 mg/L), um máximo de 48,00 mg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74), um mínimo de 1,93 mg/L (Azeda dos Castelinhos - Ref. 79) que coincide com o mínimo observado entre as 82 amostras analisadas na ilha de São Miguel, e uma mediana de 10,46 mg/L. Na massa de água Sete Cidades regista-se um máximo de 541,60 mg/L (Ferraria II - Ref. 81), um mínimo de 84,33 mg/L (Mosteiros - Ref. 84) e uma mediana de 339 mg/L. Embora a média do teor em potássio na ilha de São Miguel seja cerca de dez vezes menor do que a sua homóloga de sódio, a distribuição do catião potássio pelos pontos de água mineral das três massas de água segue o mesmo padrão do catião sódio. Considerando a totalidade dos resultados, observa-se uma grande dispersão de valores, com um desvio padrão igual a 78,25 mg/L, ligeiramente superior ao dobro da média (38,54 mg/L) e uma mediana de 20,44 mg/L.

Quanto ao cálcio foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 29,71 mg/L, máximo de 85,38 mg/L (Banhos Férreos II - Ref. 74), mínimo de 1,66 mg/L (Caldeira Grande - Ref. 10) e mediana de 19,69 mg/L, 25 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 10,83 mg/L, máximo de 27,33 (Fumarola R.G. - Ref. 65) mg/L, mínimo de 2,02 mg/L (Lombadas II - Ref. 64) e mediana de 8,23 mg/L e seis amostras na massa de água Sete Cidades, média de 358,92 mg/L, máximo de 532,60 mg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 174,62 mg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 367,55 mg/L, o que perfaz 83 amostras na ilha de São Miguel (Tabela 6.8). A observação dos valores médios permite verificar que é na massa de água Sete Cidades onde se encontra o maior teor em cálcio (358,92 mg/L) e é na massa de água, Água de Pau onde este valor é mais reduzido (média de 10,83 mg/L), apresentando a massa de água Furnas - Povoação um valor de média intermédio (29,71 mg/L). Na ilha de São Miguel a média do teor em cálcio é 47,82 mg/L, apresentando um máximo de 532,60 mg/L, observado na massa de agua Sete Cidades e um mínimo de 1,66 mg/L registado na massa de água Furnas - Povoação, sendo o valor da mediana igual a 16,88 mg/L.

Relativamente ao magnésio foram analisadas 51 amostras na massa de água Furnas - Povoação, 25 na massa de água, Água de Pau e seis na massa de água Sete Cidades o que totaliza 82 amostras na ilha de São Miguel (Tabela 6.8). É na

massa de água Sete Cidades onde se encontra o maior teor de magnésio, muito superior ao existente nas outras duas massas de água, com uma média de 511,80 mg/L, um máximo de 852,80 mg/L (Ferraria II - Ref. 81), um mínimo de 176,92 mg/L (Mosteiros - Ref. 84) e uma mediana de 525,02 mg/L. A massa de água, Água de Pau apresenta o menor teor de magnésio, com uma média de 5,16 mg/L, um máximo de 38,00 mg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74), um mínimo de 0,71 mg/L (Lombadas "doce" - Ref. 63) e uma mediana de 2,69 mg/L, mas é na massa de água Furnas - Povoação onde se encontra o mínimo valor em teor de magnésio para ilha de São Miguel, 0,13 mg/L (Caldeira do Esguicho - Ref. 36); embora a média, (8,67 mg/L) e a mediana (4,25 mg/L) sejam superiores às da massa de água Água de Pau, o máximo (36,49 mg/L) registado nesta massa de água (Banhos Férreos I balneário - Ref. 22) é ligeiramente inferior ao observado na massa de água anterior. Na ilha de São Miguel a média do teor de magnésio é 44,41 mg/L, o máximo de 852,80 mg/L, o mínimo de 0,13 mg/L e a mediana de 3,70 mg/L. A média de teor de magnésio, ligeiramente inferior à de cálcio segue o mesmo padrão de distribuição nas três massas de água, o que não é de estranhar uma vez que são ambos metais alcalino - terrosos O valor do desvio padrão (145,04 mg/L), relativo às 82 amostras analisadas na ilha de São Miguel, três vezes superior ao valor da média (44,41 mg/L), traduz uma grande dispersão de valores.

Tabela 6.8 | Elementos maiores ilha de São Miguel: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Furnas - Povoação	52	140,33	120,05	435,23	20,31	79,76
	Água de Pau	25	51,10	64,47	349,00	14,47	38,59
	Sete Cidades	6	3955,03	1996,68	6676,70	1735,48	3870,80
	Ilha de São Miguel	**83**	**389,22**	**1121,51**	**6676,70**	**14,47**	**54,43**
Potássio (mg/L)	Furnas - Povoação	52	24,92	15,04	75,88	4,60	20,82
	Água de Pau	25	15,96	12,43	48,00	1,93	10,46
	Sete Cidades	5	293,19	183,13	541,60	84,33	339,00
	Ilha de São Miguel	**82**	**38,54**	**78,25**	**541,60**	**1,93**	**20,44**
Cálcio (mg/L)	Furnas - Povoação	52	29,71	23,47	85,38	1,66	19,69
	Água de Pau	25	10,83	7,28	27,33	2,02	8,23
	Sete Cidades	6	358,92	153,41	532,60	174,62	367,65
	Ilha de São Miguel	**83**	**47,82**	**97,47**	**532,60**	**1,66**	**16,88**
Magnésio (mg/L)	Furnas - Povoação	51	8,67	9,92	36,49	0,13	4,25
	Água de Pau	25	5,16	7,60	38,00	0,71	2,69
	Sete Cidades	6	511,80	238,03	852,80	176,92	525,02
	Ilha de São Miguel	**82**	**44,41**	**145,04**	**852,80**	**0,13**	**3,70**

6.2.2 | ILHA TERCEIRA

Relativamente ao sódio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 1059,51 mg/L, máximo de 2777,20 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 69,23 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 695,81 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio e de mediana igual a 332,16 mg/L, máximo de 413,61 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 250,70 mg/L (Serreta - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 156,50 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 378,63 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.9). O valor médio do teor de sódio nas amostras analisadas nas quatro massas de água permite constatar que é na massa de água Biscoitos - Terra Chã onde esse valor médio é maior (1059,51 mg/L). Na ilha Terceira o valor médio do teor de sódio é 679,69 mg/L, sendo que o valor máximo (2777,20 mg/L) e o valor mínimo (69,23 mg/L) se observam na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 314,67 mg/L.

No que diz respeito ao potássio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 33,34 mg/L, máximo de 86,90 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 2,68 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 21,89 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 74,55 mg/L, máximo de 148,70 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 0,40 mg/L (Serreta I - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 13,21 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 14,81 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.9). O valor médio do teor de potássio mais elevado (74,55 mg/L), bem como o valor máximo (148,70 mg/L) e o valor mínimo (0,40 mg/L) pertencem à massa de água Santa Bárbara Inferior, sendo que o valor médio do teor de potássio da ilha Terceira (38,81 mg/L) é cerca de dezassete vezes e meia inferior ao do sódio (679,69 mg/L).

Quanto ao cálcio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 61,89 mg/L, máximo de 164,25 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 2,54 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 40,39 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 177,18 mg/L, máximo de 222,35 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 132,00 mg/L (Serreta I - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 32,10 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o

valor de 72,79 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.9). O valor médio do teor de cálcio da ilha Terceira é 88,35 mg/L, observando-se que o valor mais elevado (222,35 mg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (2,54 mg/L) à massa de água Biscoitos - Terra Chã.

Relativamente ao magnésio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 110,57 mg/L, máximo de 303,15 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 2,99 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 68,08 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 273,08 mg/L, máximo de 501,15 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 45,00 mg/L (Serreta I - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 28,70 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 81,17 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.9). Na ilha Terceira o valor médio do teor de magnésio observado é 137,29 mg/L, sendo que o valor máximo (501,15 mg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (2,99 mg/L) à massa de água Biscoitos - Terra Chã. Saliente-se que embora o cálcio e o magnésio sejam ambos metais alcalino - terrosos o teor de magnésio é cerca de uma vez e meia superior ao do cálcio.

Tabela 6.9 | Elementos maiores ilha Terceira: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	1059,51	1262,55	2777,20	69,23	695,81
	Santa Bárbara Inferior	2	332,16	-	413,61	250,70	332,16
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	156,50	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	378,63	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**679,69**	**924,15**	**2777,20**	**69,23**	**314,67**
Potássio (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	33,34	39,01	86,90	2,68	21,89
	Santa Bárbara Inferior	2	74,55	-	148,70	0,40	74,55
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	13,21	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	14,81	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**38,81**	**52,74**	**148,70**	**0,40**	**14,01**
Cálcio (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	61,89	74,96	164,25	2,54	40,39
	Santa Bárbara Inferior	2	177,18	63,89	222,35	132,00	177,18
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	32,10	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	72,79	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**88,35**	**78,31**	**222,35**	**2,54**	**72,14**

Magnésio (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	110,57	141,97	303,15	2,99	68,08
	Santa Bárbara Inferior	2	273,08	-	501,15	45,00	273,08
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	-	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	81,17	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**137,29**	**176,95**	**501,15**	**2,99**	**63,09**

6.2.3 | ILHA GRACIOSA

Relativamente ao sódio foram analisadas sete amostras na massa de água, Compósito, valor médio de 5785,99 mg/L, máximo de 15944,40 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101), mínimo de 1099,70 mg/L (Carapacho PS2 - Ref. 102) e mediana de 2758,50 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio de 481,80 mg/L, máximo de 732,60 mg/L (Pontal - Ref.107) e mínimo de 231,00 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.10). O valor médio do teor de sódio na ilha Graciosa é 4607,28 mg/L, sendo que o máximo (15944,40) mg/L pertence à massa de água Compósito e o mínimo (231,00 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

No que diz respeito ao potássio foram analisadas sete amostras na massa de água, Compósito, valor médio de 286,46 mg/L, máximo de 639,40 mg/L (Homiziados - Ref. 104), mínimo de 72,40 mg/L (Carapacho PS2 - Ref. 102) e mediana de 178,10 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio de 26,25 mg/L, máximo de 33,49 mg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 19,00 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.10). O valor médio do teor de potássio na ilha Graciosa é 228,64 mg/L, aproximadamente vinte vezes inferior ao teor de sódio, sendo que o valor máximo (639,40) mg/L pertence à massa de água Compósito e o valor mínimo (19,00 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

Quanto ao cálcio foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 485,94 mg/L, máximo de 848,60 mg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 83,00 mg/L (Homiziados II - Ref. 105) e mediana de 457,20 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio de 82,75 mg/L, máximo de 143,50 mg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 22,00 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.10). O valor médio do teor de cálcio da ilha Graciosa é 396,34 mg/L, sendo que o valor máximo (848,60 mg/L) pertence à massa de água Compósito

e o valor mínimo (22,00 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe.

Relativamente ao magnésio foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 531,12 mg/L, máximo de 1060,80 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101), mínimo de 13,30 mg/L (Homiziados II - Ref. 105) e mediana de 497,40 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio de 62,06 mg/L, máximo de 110,52 mg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 13,30 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.10). O valor médio do teor de magnésio da ilha Graciosa, 426,89 mg/L, é ligeiramente superior ao teor de cálcio, sendo que o valor máximo (1060,80 mg/L) e o valor mínimo pertencem ambos à massa de água Compósito.

Tabela 6.10 | Elementos maiores ilha Graciosa: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Compósito	7	5785,99	5579,27	15944,40	1099,70	2758,50
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	481,80	-	732,60	231,00	481,80
	Ilha da Graciosa	**9**	**4607,28**	**5369,59**	**15944,40**	**231,00**	**2500,00**
Potássio (mg/L)	Compósito	7	286,46	226,95	639,40	72,40	178,10
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	26,25	-	33,49	19,00	26,25
	Ilha da Graciosa	**9**	**228,64**	**227,62**	**639,40**	**19,00**	**112,05**
Cálcio (mg/L)	Compósito	7	485,94	304,16	848,60	83,00	457,20
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	82,75	-	143,50	22,00	82,75
	Ilha da Graciosa	**9**	**396,34**	**319,25**	**848,60**	**22,00**	**277,60**
Magnésio (mg/L)	Compósito	7	531,12	371,99	1060,80	13,30	497,40
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	62,06	-	110,52	13,60	62,06
	Ilha da Graciosa	**9**	**426,89**	**383,60**	**1060,80**	**13,30**	**308,00**

6.2.4 | ILHA DO FAIAL

Relativamente ao sódio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo, com o valor de 1030,80 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco que apresentam um valor máximo igual a 1696,50 mg/L (Fajã - Ref. 92), um valor mínimo igual a 794,80 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) e um valor de média e mediana igual a 1245,65 mg/L, o que representa um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.11). O valor médio do teor de sódio na ilha do Faial é 1174,03 mg/L, sendo que o máximo (1696,50 mg/L) e o mínimo (794,80 mg/L) pertencem ambos à massa de água Cedros - Castelo Branco.

No que diz respeito ao potássio foi analisada uma amostra na massa de água, Capelo, com o valor de 50,30 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco, tendo sido observados um valor máximo de 71,80 mg/L (Fajã - Ref. 92), um valor mínimo de 35,15 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), e um valor de 53,80mg/L de média e mediana, representando um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.11). O valor médio do teor de potássio na ilha do Faial, 52,42 mg/L, é cerca de 22 vezes inferior ao do sódio, sendo que o máximo (71,80 mg/L) e o mínimo (35,15 mg/L) pertencem ambos à massa de água Cedros - Castelo Branco.

Quanto ao cálcio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 128,15 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo-Branco com um máximo de 194,70 mg/L (Fajã - Ref. 92), um mínimo de 77,00mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) e, uma.média e mediana de 135,85 mg/L, o que representa um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.11). O valor médio do teor de cálcio da ilha do Faial é 133,28 mg/L, sendo que o valor máximo (194,70 mg/L) e o valor mínimo (77,00 mg/L) pertencem ambos à massa de água Cedros - Castelo Branco.

Relativamente ao magnésio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 152,33 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo-Branco que apresentam um valor máximo igual a 234,50 mg/L (Fajã - Ref. 92), um valor mínimo igual a 175,80 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) e um valor de média e mediana igual a 181,58 mg/L, representando um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.11). O valor médio do teor de magnésio da ilha do Faial, 187,54 mg/L, é ligeiramente superior ao do cálcio (133,28 mg/L), sendo que o valor máximo (234,50 mg/L) pertence à massa de água Cedros - Castelo-Branco e o valor mínimo (152,33 mg/L) pertence à massa de água Capelo.

Tabela 6.11 | Elementos maiores ilha do Faial: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Capelo	1	-	-	1030,80	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	1245,65	-	1696,50	794,80	1245,65
	Ilha do Faial	**3**	**1174,03**	**467,60**	**1696,50**	**794,80**	**1030,80**
Potássio (mg/L)	Capelo	1	-	-	50,30	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	53,48	-	71,80	35,15	53,48
	Ilha do Faial	**3**	**52,42**	**18,42**	**71,80**	**35,15**	**50,30**

Cálcio (mg/L)	Capelo	1	-	-	128,15	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	135,85	-	194,70	77,00	135,85
	Ilha do Faial	**3**	**133,28**	**59,02**	**194,70**	**77,00**	**128,15**
Magnésio (mg/L)	Capelo	1	-	-	152,33	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	205,15	-	234,50	175,80	205,15
	Ilha do Faial	**3**	**187,54**	**42,33**	**234,50**	**152,33**	**175,80**

6.2.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Relativamente ao sódio foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental, média de 52,89 mg/L, máximo de 127,57 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 17,44 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana de 29,98 mg/L (Tabela 6.12).

No que diz respeito ao potássio foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, média de 2,47 mg/L, máximo de 5,42 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 1,47 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana de 1,50 mg/L. O valor médio do teor de potássio (2,47 mg/L) é cerca de vinte e uma vezes inferior ao da média do teor de sódio (Tabela 6.12).

Quanto ao cálcio foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental com o valor médio de 17,01 mg/L, máximo de 31,39 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 3,60 mg/L (Fajã do Nortezinho - Ref. 97) e mediana de valor igual a 12,43 mg/L (Tabela 6.12).

Relativamente ao magnésio foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental com o valor máximo de 26,10 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), valor mínimo de 0,70 mg/L (Fajã do Nortezinho - Ref. 97), valor médio de 11,80 mg/L e mediana de 6,05 mg/L (Tabela 6.12).

Tabela 6.12 | Elementos maiores ilha de São Jorge: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Oriental	6	52,89	47,06	127,57	17,44	29,98
	Ilha de São Jorge	**6**	**52,89**	**47,06**	**127,57**	**17,44**	**29,98**
Potássio (mg/L)	Oriental	4	2,47	1,97	5,42	1,47	1,50
	Ilha de São Jorge	**4**	**2,47**	**1,97**	**5,42**	**1,47**	**1,50**
Cálcio (mg/L)	Oriental	6	17,01	11,84	32,00	3,60	12,43
	Ilha de São Jorge	**6**	**17,01**	**11,84**	**32,00**	**3,60**	**12,43**

Magnésio (mg/L)	Oriental	6	11,80	11,27	26,11	0,70	6,05
	Ilha de São Jorge	**6**	**11,80**	**11,27**	**26,11**	**0,70**	**6,05**

6.2.6 | ILHA DO PICO

Relativamente ao sódio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade que apresentam um valor máximo igual a 731,40 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e um valor mínimo igual a 274,31 mg/L (Silveira - Ref. 88). O valor da média e da mediana são iguais a 502,86 mg/L (Tabela 6.13).

No que diz respeito ao potássio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, tendo sido observados um valor máximo de 33,73 mg/L (Silveira - Ref. 88) e um valor mínimo de 31,40 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89). O valor da média e da mediana são iguais a 32,57 mg/L, valor cerca de quinze vezes inferior ao da média do teor de sódio (Tabela 6.13).

Quanto ao cálcio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade com um máximo de 44,50 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e um mínimo de 19,61mg/L (Silveira - Ref. 88). A média e a mediana têm igual valor (32,06 mg/L) (Tabela 6.13).

Relativamente ao magnésio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, com uma média e uma mediana igual a 72,41 mg/L, com um valor máximo de 95,20 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e com um valor mínimo de 49,61 mg/L (Silveira - Ref. 88) (Tabela 6.13).

Tabela 6.13 | Elementos maiores ilha do Pico: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Piedade	2	502,86		731,40	274,31	502,86
	Ilha do Pico	**2**	**502,86**		**731,40**	**274,31**	**502,86**
Potássio (mg/L)	Piedade	2	32,57		33,73	31,40	32,57
	Ilha do Pico	**2**	**32,57**		**33,73**	**31,40**	**32,57**
Cálcio (mg/L)	Piedade	2	32,06		44,50	19,61	32,06
	Ilha do Pico	**2**	**32,06**		**44,50**	**19,61**	**32,06**
Magnésio (mg/L)	Piedade	2	72,41		95,20	49,61	72,41
	Ilha do Pico	**2**	**72,41**		**95,20**	**49,61**	**72,41**

6.2.7 | ILHA DAS FLORES

Relativamente ao sódio foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo igual a 247,85 mg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo igual a 115,30 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86). O valor da média e da mediana são iguais a 181,58 mg/L (Tabela 6.14).

No que diz respeito ao potássio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, tendo sido observados um valor máximo de 28,46 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e um valor mínimo de 6,39 mg/L (Lajedo - Ref. 87). O valor da média e da mediana são iguais a 17,43 mg/L, valor cerca de dez vezes inferior ao da média do teor de sódio (Tabela 6.14).

Quanto ao cálcio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade com um máximo de 76,01 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e um mínimo de 52,12 mg/L (Lajedo - Ref. 87). A média e a mediana têm um valor semelhante e numericamente igual a 64,07 mg/L (Tabela 6.14).

Relativamente ao magnésio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, com uma média e uma mediana igual a 72,41 mg/L, com um valor máximo de 51,14 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e com um valor mínimo de 12,16 mg/L (Lajedo - Ref. 87) (Tabela 6.14).

Tabela 6.14 | Elementos maiores ilha das Flores: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio).

Elementos Maiores Catiões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Inferior	2	181,58	-	247,85	115,3	181,58
	Ilha das Flores	**2**	**181,58**	**-**	**247,85**	**115,3**	**181,58**
Potássio (mg/L)	Inferior	2	17,43	-	28,46	6,39	17,43
	Ilha das Flores	**2**	**17,43**	**-**	**28,46**	**6,39**	**17,43**
Cálcio (mg/L)	Inferior	2	64,07	-	76,01	52,12	64,07
	Ilha das Flores	**2**	**64,07**	**-**	**76,01**	**52,12**	**64,07**
Magnésio (mg/L)	Inferior	2	31,65	-	51,14	12,16	31,65
	Ilha das Flores	**2**	**31,65**	**-**	**51,14**	**12,16**	**31,65**

6.3 | ELEMENTOS MAIORES: ANIÕES

As concentrações de aniões nos pontos de água mineral estudados, nomeadamente o sulfato (SO_4^{2-}), o cloreto (Cl^-), o bicarbonato (HCO_3^-), o fluoreto (F^-) e o nitrato (NO_3^-) tiveram um tratamento estatístico, com indicação para cada uma destas espécies aniónicas, do número de amostras, da média (mg/L), do desvio

padrão (mg/L), dos valores máximo (mg/L) e mínimo (mg/L) e da mediana (mg/L), por ilha e por massa de água em cada ilha (Tabelas 6.15 a 6.21).

6.3.1 | ILHA DE SÃO MIGUEL

Relativamente ao ião sulfato, foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 73,41 mg/L, desvio padrão de 219,60 mg/L (grande dispersão de valores), máximo de 1399,38 mg/L (Caldeira Barrentas - Ref. 46), mínimo de 4,27 mg/L (Água da Helena - Ref. 29) e mediana de 12,59 mg/L; 25 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 76,50 mg/L, desvio padrão de 187,03 mg/L, máximo de 907,50 mg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), mínimo de 3,26 mg/L (Lombadas - Ref. 60) e mediana igual a 7,94 mg/L, e seis amostras na massa de água Sete Cidades, média de 1160,65 mg/L, máximo de 1994,54 mg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 294,99 mg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 1212,80 mg/L, o que perfaz 83 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.15). As médias de valores encontrados indicam que é na massa de água Sete Cidades onde se encontram, genericamente, os pontos de água mineral de tendência mais sulfatada, (média de 1160,65 mg/L), em contraste com as médias de 73,41 mg/L e de 73,73 mg/L, pertencentes, respectivamente, às massas de água, de Furnas - Povoação e de Água de Pau. Na ilha de São Miguel, o valor médio do teor do anião SO_4^{2-} é de 152,94 mg/L, com um desvio padrão de 374,62 mg/L, o que configura grande dispersão de valores, e o valor da mediana é igual a 13,00 mg/L; o valor máximo para o teor deste anião, (1994,54 mg/L) observa-se na massa de água Sete Cidades e o valor mínimo (3,26 mg/L) na massa de água, Água de Pau.

No que se refere ao anião cloreto foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação (média de 61,19 mg/L), 25 amostras na massa de água, Água de Pau (média de 200,26 mg/L) e seis amostras na massa de água Sete Cidades (média de 8203,44 mg/L), o que perfaz um total de 83 águas minerais analisadas na ilha de São Miguel (Tabela 6.15). Relativamrente aos seis pontos de água mineral da massa de água Sete Cidades examinados, o teor em cloreto máximo é de 12638,00 mg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], o mínimo é de 3095,07 mg/L (Mosteiros - Ref. 84) e apresenta uma mediana de 8891,32 mg/L. Por seu turno, as 25 amostras analisadas da massa de água, Água de Pau apresentam um teor em cloreto máximo de 3660,00 mg/L (FC2_Bel Portugal - Ref. 75), um mínimo de 14,22mg/L (Lombadas II - Ref. 64) e uma mediana de 38,59 mg/L. O teor de cloretos na Massa de Água Furnas - Povoação apresenta um máximo de 278,29 mg/L (Caldeira do Asmodeu - Ref. 11), um mínimo de 10,30 mg/L (Caldeira dos Inhames - Ref. 43) e

uma mediana de 51,30 mg/L. O valor máximo na ilha de São Miguel (12638,00 mg/L) é observado na massa de água Sete Cidades e o mínimo (10,30 mg/L) é registado na massa de água Furnas - Povoação, que apresenta genericamente pontos de águas minerais com tendência cloretada menos pronunciada.

Quanto ao ião bicarbonato, foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 379,65 mg/L, máximo de 1133,00 mg/L (Banhos Férreos II - Ref. 24), mínimo de 14,00 mg/L (Caldeira dos Inhames - Ref. 43) e mediana de 238,50 mg/L, 22 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 131,24 mg/L, máximo de 371,00 mg/L (FC2_Bel Portugal - Ref. 72), mínimo de 23,80 mg/L (Ribeira das Gramas - Ref. 59) e mediana de 88,15 mg/L, e seis amostras na massa de água Sete Cidades, média de 519,82 mg/L, máximo de 608,00 mg/L (Ferraria III - Ref. 82), mínimo de 426,40 mg/L (Ferraria II - Ref. 81) e mediana de 527,45 mg/L, o que perfaz um total de 78 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.15). O valor máximo (1133,00 mg/L) e o valor mínimo (14,00 mg/L) registados na massa de água Furnas - Povoação coincidem com os valores extremos observados na ilha de S. Miguel A massa de água Sete Cidades apresenta o maior valor médio (519,82 mg/L), um desvio padrão de 82,32 mg/L e uma mediana igual a 527,45 mg/L, o que configura que as seis amostras analisadas apresentam uma certa uniformidade no que diz respeito ao teor de bicarbonato. Para a ilha de São Miguel, o valor médio é 320,37 mg/L e o valor da mediana é 226,35 mg/L.

No que diz respeito ao anião fluoreto foram analisadas 49 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 2,90 mg/L, máximo de 21,42 mg/L (Caldeira Grande - Ref. 10), mínimo de 0,09 mg/L (Camarça - Ref. 45) e mediana de 1,69 mg/L, 11 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 0,59 mg/L, máximo de 1,42 mg/L (Ladeira Velha Férrea - Ref. 58), mínimo de 0,18 mg/L (Ribeira das Gramas - Ref. 59) e mediana de 0,55 mg/L e uma amostra na massa de água Sete Cidades com o valor de 0,70 mg/L (Ferraria III - Ref. 82), o que perfaz um total de 62 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.15). A massa de água Furnas - Povoação apresenta um máximo de 21,41 mg/L e um mínimo de 0,09 mg/L, que coincidem, respectivamente com os valores, máximo e mínimo observados na ilha de São Miguel. Para a ilha de São Miguel, o valor médio é 2,45 mg/L e o valor da mediana é 1,30 mg/L.

Relativamente ao anião nitrato foram analisadas 32 amostras na massa de água Furnas - Povoação (média de 5,22 mg/L), 19 amostras na massa de água, Água de Pau (média de 4,62 mg/L) e zero amostras na massa de água Sete Cidades, o que perfaz um total de 42 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.15). A massa de

água Furnas - Povoação apresenta um máximo de 42,05 mg/L (Tio José Sousa - Ref. 39) e um mínimo de 0,54 mg/L (Banhos Férreos I nascente - Ref. 23), que coincidem com os valores extremos observados na ilha de S. Miguel. A massa de água, Água de Pau apresenta, um máximo de 9,77 mg/L (Porto Formoso III - Ref. 55), um mínimo de 1,25 mg/L (Lombadas - Ref. 60), e uma mediana igual a 3,20 mg/L. Para a ilha de São Miguel, o valor médio é 4,98 mg/L e o valor da mediana é 2,42 mg/L.

Tabela 6.15 | Elementos maiores ilha de São Miguel: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana (mg/L)
Sulfato (mg/L)	Furnas - Povoação	52	73,41	219,60	1399,38	4,27	12,59
	Água de Pau	25	76,50	187,03	907,50	3,26	7,94
	Sete Cidades	6	1160,65	572,92	1994,54	294,99	1212,80
	Ilha de São Miguel	**83**	**152,94**	**374,62**	**1994,54**	**3,26**	**13,00**
Cloreto (mg/L)	Furnas - Povoação	52	61,19	55,59	278,29	10,30	51,30
	Água de Pau	25	200,26	726,10	3660,00	14,22	30,26
	Sete Cidades	6	8203,44	3895,07	12638,00	3095,07	8891,32
	Ilha de São Miguel	**83**	**691,67**	**2352,83**	**12638,00**	**10,30**	**45,29**
Bicarbonato (mg/L)	Furnas - Povoação	50	379,65	334,06	1133,00	14,00	238,50
	Água de Pau	22	131,24	110,42	371,00	23,80	88,15
	Sete Cidades	6	519,82	82,32	608,00	426,40	527,45
	Ilha de São Miguel	**78**	**320,37**	**320,37**	**1133,00**	**14,00**	**226,35**
Fluoreto (mg/L)	Furnas - Povoação	49	2,90	3,82	21,41	0,09	1,69
	Água de Pau	11	0,59	0,38	1,42	0,18	0,51
	Sete Cidades	1	-	-	0,70	-	-
	Ilha de São Miguel	**61**	**2,45**	**3,55**	**21,41**	**0,09**	**1,30**
Nitrato (mg/L)	Furnas - Povoação	32	5,22	8,29	42,05	0,54	2,29
	Água de Pau	10	4,62	3,21	9,77	1,25	3,20
	Sete Cidades	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Miguel	**42**	**5,08**	**7,37**	**42,05**	**0,54**	**2,50**

6.3.2 | ILHA TERCEIRA

Relativamente ao sulfato foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 233,95 mg/L, máximo de 632,50 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 13,00 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 145,15 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 431,22 mg/L, máximo de 816,33 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 46,10 mg/L (Serreta I - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor

de 69,97 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 176,08 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.16). O valor médio do teor de sulfato nas amostras analisadas nas quatro massas de água permite constatar que é na massa de água Santa Bárbara Inferior onde esse valor médio é maior (431,22 mg/L). Na ilha Terceira o valor médio do teor de sulfato é 255,53 mg/L, sendo que o valor máximo (816,33 mg/L) e o valor mínimo (13,00 mg/L) se observam na massa de água Santa Bárbara Inferior e na massa de água Biscoitos - Terra Chã, respectivamente, apresentando a mediana o valor de 123,02 mg/L.

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas cinco amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 1525,18 mg/L, máximo de 5153,63 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 75,45 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 245,00 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 3450,64 mg/L, máximo de 6514,38 mg/L (Serreta II - Ref. 108) e mínimo de 386,90 mg/L (Serreta I - Ref. 115), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 480,32 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 1314,05 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.16). O valor médio do teor de cloreto mais elevado (3450,64 mg/L), bem como o valor máximo (6514,38 mg/L) pertencem à massa de água Santa Bárbara Inferior, mas o valor mínimo (75,45 mg/L) regista-se na massa de água Biscoitos - Terra Chã. O valor médio do teor de cloreto da ilha Terceira é 1813,51 mg/L e o valor da mediana é 480,32 mg/L.

Quanto ao bicarbonato foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 99,13 mg/L, máximo de 165,31 mg/L (Bravio - Ref. 111), mínimo de 34,16 mg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113) e mediana de 98,52 mg/L, duas amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, valor médio de 635,90 mg/L, máximo de 671,00 mg/L (Serreta I - Ref. 115) e mínimo de 600,80 mg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 135,40 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 204,35 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.16). O valor médio do teor de bicarbonato na ilha Terceira é 251,01 mg/L, observando-se que o valor mais elevado (671,00 mg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mais baixo (34,16 mg/L) à massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 150,36 mg/L.

Relativamente ao fluoreto foram analisadas duas amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 3,22 mg/L, máximo de 3,60 mg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113) e mínimo de 2,84 mg/L (Tomo do Porto - Ref. 112), zero amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior e na massa de água Central e uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 0,44 mg/L (Água Santa - Ref. 109), o que representa um total de três águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.16). Na ilha Terceira valor médio do teor de fluoreto observado é 2,29 mg/L, sendo que o valor máximo (3,60 mg/L) pertence à massa de água Biscoitos - Terra Chã e o valor mínimo (0,44 mg/L) à massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras, apresentando a media na o valor de 2,84 mg/L.

No que concerne ao nitrato foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 14,70 mg/L, máximo de 25,60 mg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 8,74 mg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113), mediana de 12,23 mg/L, zero amostras na massa de água Santa Bárbara Inferior, uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 26,62 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 25,38 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de seis águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.16). O valor médio do teor de nitrato na ilha Terceira é 18,46 mg/L, observando-se que o valor mais elevado (26,62 mg/L) pertence à massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras e o valor mínimo (8,74 mg/L) à massa de água Biscoitos - Terra Chã, sendo o valor da mediana igual a 20,25 mg/L.

Tabela 6.16 | Elementos maiores ilha Terceira: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	233,95	292,64	632,50	13,00	145,15
	Santa Bárbara Inferior	2	431,22	-	816,33	46,10	431,22
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	69,97	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	176,08	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**255,53**	**306,57**	**816,33**	**13,00**	**123,02**
Cloreto (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	5	1525,18	2192,81	5153,63	75,45	245,00
	Santa Bárbara Inferior	2	3450,64	-	6514,38	386,90	3450,64
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	480,32	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	1314,05	-	-
	Ilha Terceira	**9**	**1813,51**	**2392,95**	**6514,38**	**75,45**	**480,32**

Bicarbonato (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	99,13	58,34	165,31	34,16	98,52
	Santa Bárbara Inferior	2	635,90	-	671,00	600,80	635,90
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	135,40	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	204,35	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**251,01**	**244,01**	**671,00**	**34,16**	**150,36**
Fluoreto (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	2	3,22	0,54	3,60	2,84	3,22
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	0,44	-	-
	Aquifero Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**3**	**2,29**	**1,65**	**3,60**	**0,44**	**2,84**
Nitrato (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	14,70	7,82	25,60	8,74	12,23
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	26,62	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	25,38	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**18,46**	**8,42**	**26,62**	**8,74**	**20,25**

6.3.3 | ILHA GRACIOSA

Relativamente ao sulfato foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 1121,95 mg/L, máximo de 2381,56 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101), mínimo de 226,35 mg/L (Carapacho PS2 - Ref. 102) e mediana igual a 1423,70 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio de 51,44 mg/L, máximo de 100,98 mg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 1,90 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.17). O valor médio do teor de sulfato da ilha Graciosa é 884,06 mg/L, sendo que o máximo (2381,56 mg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (1,90 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 460,00 mg/L.

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 11655,01 mg/L, máximo de 20588,52 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101), mínimo de 2816,19 mg/L (Carapacho PS2 - Ref. 102) e mediana de 15733,98 mg/L, e uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com o valor de 1175,72 mg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de oito águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.17). O valor médio do teor de cloreto da ilha Graciosa é 10345,10 mg/L, sendo que o valor máximo (20588,52 mg/L) pertence à massa de água Compósito e o valor mínimo (1175,72 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 9635,40 mg/L.

Quanto ao bicarbonato foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 796,36 mg/L, máximo de 1097,70 mg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 325,10 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101) e mediana de 875,40 mg/L, e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz -Guadalupe, valor médio de 45,75 mg/L, máximo de 79,30 mg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 12,20 mg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.17). O valor médio do teor de bicarbonato da ilha Graciosa é 629,56 mg/L, sendo que o valor máximo (1097,70 mg/L) pertence à massa de água Compósito e o valor mínimo (12,20 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 754,00 mg/L.

Não foi detectado fluoreto em nenhuma das amostras recolhidas para análise na ilha Graciosa (Tabela 6.17).

Relativamente ao nitrato foi analisada uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe com o valor de 23,10 mg/L (Pontal - Ref. 107) (Tabela 6.17).

Tabela 6.17 | Elementos maiores ilha Graciosa: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Compósito	7	1121,95	818,74	2381,56	226,35	1423,70
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	51,44	-	100,98	1,90	51,44
	Ilha da Graciosa	**9**	**884,06**	**852,17**	**2381,56**	**1,90**	**460,00**
Cloreto (mg/L)	Compósito	7	11655,01	7984,38	20588,52	2816,19	15733,98
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	1175,72	-	-
	Ilha da Graciosa	**8**	**10345,10**	**8268,62**	**20588,52**	**1175,72**	**9635,40**
Bicarbonato (mg/L)	Compósito	7	796,36	242,82	1097,70	325,10	875,40
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	45,75	-	79,30	12,20	45,75
	Ilha da Graciosa	**9**	**629,56**	**392,50**	**1097,70**	**12,20**	**754,00**
Fluoreto (mg/L)	Compósito	0	-	-	-	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	0	-	-	-	-	-
	Ilha da Graciosa	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Nitrato (mg/L)	Compósito	0	-	-	-	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	23,10	-	-
	Ilha da Graciosa	**1**	**-**	**-**	**23,10**	**-**	**-**

6.3.4 | ILHA DO FAIAL

Relativamente ao sulfato foi analisada uma amostra na massa de água Capelo, com o valor de 191,01 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco com valores de 195,26 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) e 95,94 mg/L (Fajã - Ref. 92), média de 145,60 mg/L, o que representa um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.18). O valor médio do teor de sulfato na ilha do Faial é 160,74 mg/L, sendo que o máximo (195,26 mg/L) e o mínimo (95,94 mg/L) pertencem ambos à massa de água Cedros - Castelo Branco, apresentando a mediana um valor igual ao registado na massa de água Capelo (191,01 mg/L).

No que diz respeito ao cloreto foi analisada uma amostra na massa de água, Capelo, com o valor de 2072,85 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco, com valores de 3337,00 mg/L (Fajã - Ref. 92) e 1696,25 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), média de 2516,62mg/L, o que representa um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.18). O valor médio do teor de cloreto na ilha do Faial é 2368,70 mg/L, sendo que o máximo (3337,00 mg/L) e o mínimo (1696,25 mg/L) pertencem ambos à massa de água Cedros - Castelo Branco, apresentando a mediana um valor de 2072,85 mg/L.

Quanto ao bicarbonato foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 422,70 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo-Branco com um máximo de 405,04 mg/L (Fajã – Ref. 92), um mínimo de 274,50 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) e uma média de 339,77 mg/L, o que representa um total de três águas analisadas para a ilha do Faial (Tabela 6.18). O valor médio do teor de bicarbonato da ilha do Faial é 367,41 mg/L, sendo que o valor máximo (422,70 mg/L) pertence à massa de água Capelo e o valor mínimo (274,50 mg/L) à massa de água Cedros - Castelo Branco, apresentando a mediana o valor intermédio registado, 405,04 mg/L.

Não foi observada a presença quer de fluoreto (F^-), quer de nitrato (NO_3^-) nas águas minerais da ilha do Faial analisadas.

Tabela 6.18 | Elementos maiores ilha do Faial: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Capelo	1	-	-	191,01	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	145,60	-	195,26	95,94	145,60
	Ilha do Faial	**3**	**160,74**	**56,15**	**195,26**	**95,94**	**191,01**

Cloreto (mg/L)	Capelo	1	-	-	2072,85	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	2516,62	-	3337,00	1696,25	2516,62
	Ilha do Faial	**3**	**2368,70**	**859,46**	**3337,00**	**1696,25**	**2072,85**
Bicarbonato (mg/L)	Capelo	1	-	-	422,70	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	339,77	-	405,04	274,50	339,77
	Ilha do Faial	**3**	**367,41**	**80,95**	**422,70**	**274,50**	**405,04**
Fluoreto (mg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Nitrato (mg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.3.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Relativamente ao sulfato foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental, média de 11,79 mg/L, máximo de 35,37 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 2,80 mg/L (Fajã dos Vimes I - Ref. 93) e mediana de 4,45 mg/L (Tabela 6.19).

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental, média de 87,84 mg/L, máximo de 258,01 mg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 19,78 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana de 24,18 mg/L (Tabela 6.19).

Quanto ao bicarbonato foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental com o valor máximo de 146,40 mg/L (Ponta da Forcada - Ref. 98), valor mínimo de 62,20 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95), valor médio de 88,75 mg/L e mediana igual a 74,10 mg/L (Tabela 6.19).

Relativamente ao fluoreto foram analisadas duas amostras na massa de água Oriental com o valor máximo de 1,00 mg/L (Fajã do Nortezinho - Ref. 97), o valor mínimo de 0.02 mg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95). O valor médio e de mediana é igual a 0,51 mg/L (Tabela 6.19).

No que diz respeito ao nitrato foram analisadas duas amostras na massa de água Oriental com um máximo de 8,68 mg/L e um mínimo de 0,59 mg/L. A média e a mediana têm igual valor (4,63 mg/L) (Tabela 6.19).

Tabela 6.19 | Elementos maiores ilha de São Jorge: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Oriental	6	11,79	13,31	35,37	2,80	4,45
	Ilha de São Jorge	**6**	**11,79**	**13,31**	**35,37**	**2,80**	**4,45**
Cloreto (mg/L)	Oriental	6	87,84	104,21	258,01	19,78	24,18
	Ilha de São Jorge	**6**	**87,84**	**104,21**	**258,01**	**19,78**	**24,18**
Bicarbonato (mg/L)	Oriental	6	88,75	32,93	146,40	62,20	74,10
	Ilha de São Jorge	**6**	**88,75**	**32,93**	**146,40**	**62,20**	**74,10**
Fluoreto (mg/L)	Oriental	2	0,51	-	1,00	0,02	0,51
	Ilha de São Jorge	**2**	**0,51**	**-**	**1,00**	**0,02**	**0,51**
Nitrato (mg/L)	Oriental	2	4,63	-	8,68	0,59	4,63
	Ilha de São Jorge	**2**	**4,63**	**-**	**8,68**	**0,59**	**4,63**

6.3.6 | ILHA DO PICO

Relativamente ao sulfato foram analisadas duas amostras na massa de Água Piedade com uma média e uma mediana igual a 114,99 mg/L, com um valor máximo de 184,50 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e com um valor mínimo de 45,47 mg/L (Silveira - Ref. 88) (Tabela 6.20).

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, com uma média e uma mediana igual a 836,82 mg/L, com um valor máximo de 1317,00 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e com um valor mínimo de 356,64 mg/L (Silveira - Ref. 88) (Tabela 6.20).

Quanto ao bicarbonato foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade com um máximo de 307,40 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e um mínimo de 84,80 mg/L (Silveira - Ref. 88). A média e a mediana têm igual valor (196,10 mg/L) (Tabela 6.20).

Relativamente ao fluoreto foi analisada uma amostra (Santo Amaro - Ref. 89) na massa de água Piedade, com o valor de 0,30 mg/L (Tabela 6.20).

No que diz respeito ao nitrato foi analisada uma amostra (Silveira - Ref. 88) na massa de água Piedade, com o valor de 3,11 mg/L (Tabela 6.20).

Tabela 6.20 | Elementos maiores ilha do Pico: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Piedade	2	114,99	-	184,50	45,47	114,99
	Ilha do Pico	**2**	**114,99**	**-**	**184,50**	**45,47**	**114,99**
Cloreto (mg/L)	Piedade	2	836,82	-	1317,00	356,64	836,82
	Ilha do Pico	**2**	**836,82**	**-**	**1317,00**	**356,64**	**836,82**
Bicarbonato (mg/L)	Piedade	2	196,10	-	307,40	84,80	196,10
	Ilha do Pico	**2**	**196,10**	**-**	**307,40**	**84,80**	**196,10**
Fluoreto (mg/L)	Piedade	1	0,30		0,30	0,30	0,30
	Ilha do Pico	**1**	**0,30**		**0,30**	**0,30**	**0,30**
Nitrato (mg/L)	Piedade	1	3,11		3,11	3,11	3,11
	Ilha do Pico	**1**	**3,11**		**3,11**	**3,11**	**3,11**

6.3.7 | ILHA DAS FLORES

Relativamente ao sulfato foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo igual a 51,20 mg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo igual a 5,78 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86). O valor da média e da mediana são iguais a 28,49 mg/L (Tabela 6.21).

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo de 114,44 mg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo de 41,98 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86), uma média e mediana de 78,21 mg/L (Tabela 6.21).

Quanto ao bicarbonato foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um valor máximo de 796,00 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e um valor mínimo 607,00 mg/L (Lajedo - Ref. 87). A média e a mediana têm igual valor (701,50 mg/L) (Tabela 6.21).

Relativamente ao fluoreto foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo igual a 5,14 mg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo igual a 0,06 mg/L (Poio Moreno - Ref. 86). O valor da média e da mediana são iguais a 2,60 mg/L (Tabela 6.21).

Não foi observado nitrato (NO_3^-) nas águas minerais da ilha das Flores.

Tabela 6.21 | Elementos maiores ilha das Flores: aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato).

Elementos Maiores Aniões	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Inferior	2	28,49	-	51,20	5,78	28,49
	Ilha das Flores	**2**	**28,49**	**-**	**51,20**	**5,78**	**28,49**
Cloreto (mg/L)	Inferior	2	78,21	-	114,44	41,98	78,21
	ilha das flores	**2**	**78,21**	**-**	**114,44**	**41,98**	**78,21**
Bicarbonato (mg/L)	Inferior	2	701,50	-	796,00	607,00	701,50
	Ilha das Flores	**2**	**701,50**	**-**	**796,00**	**607,00**	**701,50**
Fluoreto (mg/L)	Inferior	2	2,60	-	5,14	0,06	2,60
	Ilha das Flores	**2**	**2,60**	**-**	**5,14**	**0,06**	**2,60**
Nitrato (mg/L)	Inferior	0	-	-	-	-	-
	Ilha das Flores	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4. | ELEMENTOS MENORES E EM TRAÇO

Neste ponto, destacamos os elementos menores e em traço cuja concentração é expressa em µg/L.

Os elementos menores e em traço estudados foram, nomeadamente, o bromo (Br), o lítio (Li), o estrôncio (Sr), o manganês (Mn), o ferro (Fe), o bário (Ba), o zinco (Zn), o cobre (Cu), o niquel (Ni), o chumbo Pb), o cobalto (Co), o crómio (Cr), o alumínio (Al), o arsénio (As), o cádmio (Cd), o selénio (Se) e o mercúrio (Hg). Estes elementos, em número de dezassete, sofreram tal como anteriormente para os elementos maiores, um tratamento estatístico, com indicação, para cada um, do número de amostras, da média, do desvio padrão, do máximo, do mínimo e da mediana discriminadas por ilha e por massa de água em cada a ilha (Tabelas 6.22 a 6.28).

Entre eles destacamos, pela sua importância, quer nos estudos vulcanológicos, quer na balneoterapia, o alumínio (AL), o ferro (Fe), o litío (Li), o manganês (Mn), o estrôncio (Sr), o chumbo (Pb), o zinco (Zn), o arsénio (As) e o bromo (Br).

6.4.1 ILHA DE SÃO MIGUEL

Relativamente ao bromo foi analisada uma amostra na massa de água Furnas - Povoação, com o valor de 600,00 µg/L (Água Férrea - Ref. 27) (Tabela 6.22).

Quanto ao lítio foram analisadas 50 amostras na massa de gua Furnas - Povoação, média de 90,86 µg/L, desvio padrão de 93,12 µg/L, máximo de 321,00 µg/L (Caldeira Asmodeu - Ref. 11), mínimo de 2,00 µg/L (Glória Patri - Ref. 16 e Camarça -

Ref. 45) e mediana de 39,00 µg/L, 24 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 15,92 µg/L, desvio padrão de 15,77 µg/L, máximo de 58,00 µg/L (Ladeira Velha Férrea - Ref. 58), mínimo de 3,00 µg/L (Porto Formoso III - Ref. 55 e Ribeira das Gramas - Ref. 59) e mediana de 10,00 µg/L, e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 673,20 µg/L, desvio padrão de 401,50 µg/L, máximo de 1060,00 µg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], mínimo de 181,00 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 780,00 µg/L, num total de 80 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). Na ilha de São Miguel, o valor médio mais elevado (673,20 µg/L) e o máximo (1060,00 µg/L) foram observados na massa de água Sete Cidades, enquanto o valor mínimo (2,00 µg/L) se encontra na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de lítio relativo às 79 amostras analisadas na ilha de São Miguel, é de 104,95 µg/L, desvio padrão de 192,49 µg/L, sendo o valor da mediana igual a 34,00 µg/L.

Relativamente ao elemento estrôncio foram analisadas 46 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 52,37 µg/L, desvio padrão de 35,02 µg/L máximo de 161,00 µg/L (Azeda da Ribeira Fogo - Ref. 50), mínimo de 6,98 µg/L (Caldeira do Esguicho - Ref. 36) e mediana de 42,30 µg/L, 23 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 44,85 µg/L, desvio padrão de 37,35 µg/L máximo de 150,00 µg/L (FC4_Insulac - Ref. 77), mínimo de 7,18 µg/L (Caldeira Velha Nascente - Ref. 69) e mediana de 32,70 µg/L e zero amostras na massa de água Sete Cidades, no total de 69 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio do teor de estrôncio relativo às 69 amostras analisadas é de 49,87 µg/L, desvio padrão de 35,71 µg/L e a mediana apresenta o valor de 35,80 µg/L, sendo que o valor máximo (161,00 µg/L) e o valor mínimo (6,98 µg/L) pertencem ambos à massa de água Furnas - Povoação.

Quanto ao manganês analisaram-se 51 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 845,21 µg/L, desvio padrão de 831,56 µg/L, máximo de 4470,00 µg/L (Caldeira dos Tambores - Ref. 41), mínimo de 3,10 µg/L (Camarça - Ref. 45) e mediana de 659,00 µg/L, 24 amostras na massa de água, Água de Pau média de 941,48 µg/L, desvio padrão de 1123,67 µg/L, máximo de 3910,00 µg/L (Ladeira Velha Férrea - Ref. 58), mínimo de 2,50 µg/L (FC3_Agro Vieiras - Ref. 76) e mediana de 465,00 µg/L e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 1414,66 µg/L, desvio padrão de 1531,43 µg/L, máximo de 3050,00 µg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], mínimo de 10,10 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 982,00 µg/L o que totaliza 81 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (1414,66 µg/L) pertence à massa de água Sete Cidades, mas o valor máximo (4470,00 µg/L) e o valor mínimo (2,50 µg/L) são observados, respectivamente, na

massa de água Furnas - Povoação e na massa de água, Água de Pau. O valor médio do teor de manganês verificado na ilha de São Miguel é de 909,68 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 80 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 971,15 µg/L e 620,00 µg/L.

No que diz respeito ao ferro analisaram-se 45 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 802,17 µg/L, desvio padrão de 2398,30 µg/L, máximo de 16000,00 µg/L (Ribeira Quente I - Ref. 47), mínimo de 7,80 µg/L (Banhos dos Cabaços - Ref. 42) e mediana de 230,00 µg/L, 19 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 1269,47 µg/L, desvio padrão de 2234,55 µg/L, máximo de 7840,00 µg/L (Ladeira Velha Férrea - Ref. 58), mínimo de 10,00 µg/L (Magarça - Ref. 71) e mediana de 110,00 µg/L, e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 372,00 µg/L, desvio padrão de 358,15 µg/L, máximo de 1000,00 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], mínimo de 130,00 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 280,00 µg/L o que totaliza 69 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (1269,47 µg/L) pertence à massa de água, Água de Pau, mas o valor máximo (16000,00 µg/L) e o valor mínimo (7,80 µg/L) são observados na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de ferro registado na ilha de São Miguel é de 899,68 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 70 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 22134,55 µg/L e 210,00 µg/L.

O bário, foi analisado em 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 11,21 µg/L, desvio padrão de 26,19 µg/L, máximo de 167,00 µg/L (Ribeira Quente III - Ref. 49), mínimo de 0,80 µg/L (Dr. Bruno - Ref. 32) e mediana de 4,20 µg/L, 22 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 7,40 µg/L, desvio padrão de 6,77 µg/L, máximo de 20,50 µg/L (Fumarola R.G. - Ref. 32), mínimo de 1,10 µg/L (Porto Formoso I - Ref. 65) e mediana de 3,25 µg/L e quatro amostras na massa de água Sete Cidades, média de 22,60 µg/L, desvio padrão de 26,27 µg/L, máximo de 61,30 µg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], mínimo de 3,10 µg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 13,00 µg/L o que totaliza 76 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (22,60 µg/L) pertence à massa de água Sete Cidades, mas o valor máximo (167,00 µg/L) e o valor mínimo (0,80 µg/L) são observados na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de bário verificado na ilha de São Miguel é de 10,71 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana, relativos às 76 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 22,35 µg/L e 4,20 µg/L.

Relativamente ao zinco foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 33,11 µg/L, desvio padrão de 40,81 µg/L, máximo de 226,00 µg/L (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), mínimo de 4,50 µg/L (Água da Poça - Ref. 20) e mediana de 19,20 µg/L, 24 amostras na massa de água, Água de Pau média de 63,54 µg/L, desvio padrão de 51,09 µg/L, máximo de 198,00 µg/L (Ladeira Velha Férrea - Ref. 85), mínimo de 10,30 µg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74) e mediana de 45,60 µg/L, e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 27,30 µg/L, desvio padrão de 20,43 µg/L, máximo de 60,00 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], mínimo de 7,50 µg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 26,30 µg/L o que totaliza 79 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (63,54 µg/L) pertence à massa de água, Água de Pau, mas o valor máximo (226,00 µg/L) e o valor mínimo (4,50 µg/L) são observados na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de zinco verificado na ilha de São Miguel é de 41,99 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 79 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 45,25 µg/L e 24,10 µg/L.

Em relação ao elemento cobre foram analisadas 78 amostras na ilha de São Miguel, 51 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 6,65 µg/L, desvio padrão de 24,98 µg/L, máximo de 181,00 µg/L (Banhos dos Cabaços - Ref. 42), mínimo de 0,40 µg/L (Glória Patri - Ref. 16) e mediana de 2,90 µg/L, 23 amostras na massa de água, Água de Pau média de 4,84 µg/L, desvio padrão de 7,96 µg/L, máximo de 35,60 µg/L (Porto Formoso IV - Ref. 56), mínimo de 0,20 µg/L (Porto Formoso I - Ref. 53) e mediana de 2,00 µg/L, e quatro amostras na massa de água Sete Cidades, média de 46,08 µg/L, desvio padrão de 28,91 µg/L, máximo de 81,50 µg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 19,70 µg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 41,55 µg/L (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (46,08 µg/L) pertence à massa de água, Sete Cidades, mas o valor máximo (181,00 µg/L) observa-se na massa de água Furnas - Povoação e o valor mínimo (0,20 µg/L) na massa de água, Água de Pau. O valor médio verificado na ilha de São Miguel para o teor de cobre é de 8,14 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 78 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 23,14 µg/L e 2,75 µg/L.

No que concerne ao elemento níquel foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 2,45 µg/L, desvio padrão de 3,37 µg/L, máximo de 17,00 µg/L (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), mínimo de 0,30 µg/L (Quenturas II - Ref. 13) e mediana de 1,40 µg/L, 22 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 2,23 µg/L, desvio padrão de 2,84 µg/L, máximo de 11,80 µg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), mínimo de 0,30 µg/L (Lombadas II - Ref. 64) e mediana de 1,15

µg/L, e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 17,86 µg/L, desvio padrão de 8,95 µg/L, máximo de 29,10 µg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 8,30 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 14,50 µg/L, o que representa um total de 77 amostras analisadas (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (17,86 µg/L), bem como o valor máximo (29,10 µg/L) pertencem à massa de água Sete Cidades, mas o valor mínimo (0,30 µg/L) observa-se simultaneamente na massa de água Furnas - Povoação e na massa de água, Água de Pau. Na ilha de São Miguel o valor médio verificado para o teor de níquel é de 3,39 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 77 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 5,34 µg/L e 1,50 µg/L.

Em relação ao chumbo foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 0,37 µg/L, desvio padrão de 0,37 µg/L, máximo de 1,72 µg/L (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), mínimo de 0,04 µg/L (Glória Patri - Ref. 16) e mediana de 0,28 µg/L, 22 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 0,99 µg/L, desvio padrão de 1,90 µg/L, máximo de 8,02 µg/L (Caldeira Grande R. G. - Ref. 84), mínimo de 0,05 µg/L (Lombadas - Ref. 84) e mediana de 0,23 µg/L e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 3,30 µg/L, desvio padrão de 6,54 µg/L, máximo de 15,00 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], mínimo de 0,07 µg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 0,51 µg/L o que totaliza 77 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (3,30 µg/L), bem como o valor máximo (15,00 µg/L) pertencem à massa de água Sete Cidades, mas o valor mínimo (0,04 µg/L) observa-se na massa de água Furnas - Povoação. Na ilha de São Miguel o valor médio verificado para o teor de chumbo é de 0,74 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 77 amostras recolhidas, respectivamente iguais a 1,97 µg/L e 0,28 µg/L.

No que diz respeito ao cobalto foram analisadas 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 0,56 µg/L, desvio padrão de 1,40 µg/L, máximo de 7,15 µg/L (Caldeiras Barrentas - Ref. 46), mínimo de 0,01 µg/L (Ponte - Ref. 28) e mediana de 0,18 µg/L, 22 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 0,60 µg/L, desvio padrão de 0,77 µg/L, máximo de 3,07 µg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), mínimo de 0,02 µg/L (Porto Formoso III - Ref. 55 e FC3_Agro Vieiras - Ref. 76) e mediana de 0,27 µg/L e quatro amostras na massa de água Sete Cidades, média de 2,08 µg/L, desvio padrão de 3,59 µg/L, máximo de 7,46 µg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], mínimo de 0,11 µg/L (Mosteiros - Ref. 84) e mediana de 0,38 µg/L o que totaliza 76 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (2,08 µg/L), bem como o valor máximo (7,46 µg/L) pertencem à massa de

água Sete Cidades, mas o valor mínimo (0,01 µg/L) é observado na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de cobalto verificado na ilha de São Miguel é de 0,65 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana, relativos às 76 amostras recolhidas, respectivamente iguais a 1,44 µg/L e 0,20 µg/L.

Relativamente ao crómio foram analisadas 33 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 1,71 µg/L, desvio padrão de 2,68 µg/L, máximo de 11,60 µg/L (Terra Nostra I - Ref. 7), mínimo de 0,50 µg/L (Grutinha I - Ref. 18) e mediana de 0,90 µg/L, oito amostras na massa de água, Água de Pau, média de 2,18 µg/L, desvio padrão de 2,43 µg/L, máximo de 8,20 µg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), mínimo de 0,50 µg/L (Lombadas "doce" - Ref. 63) e mediana de 1,30 µg/L e uma amostra na massa de água Sete Cidades, com o valor de 3,00 µg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], no total de 42 amostras (Tabela 6.22). Na ilha de São Miguel o valor médio do teor de crómio é de 1,84 µg/L, desvio padrão de 2,58 µg/L e a mediana apresenta o valor de 0,90 µg/L, sendo que o valor máximo (11,60 µg/L) pertence à massa de água Furnas - Povoação e o valor mínimo (0,50 µg/L) pertence simultaneamente à massa de água Furnas - Povoação e à massa de água, Água de Pau.

Quanto ao alumínio analisaram-se 50 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 292,63 µg/L, desvio padrão de 354,81 µg/L, máximo de 1260,00 µg/L (Caldeira Asmodeu - Ref. 11), mínimo de 9,00 µg/L (Glória Patri - Ref. 16) e mediana de 95,00 µg/L, 20 amostras na massa de água, Água de Pau média de 310,70 µg/L, desvio padrão de 219,06 µg/L, máximo de 668,00 µg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 69), mínimo de 10,00 µg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74) e mediana de 322,00 µg/L e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 85,20 µg/L, desvio padrão de 45,57 µg/L, máximo de 133,00 µg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 32,00 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82] e mediana de 108,00 µg/L o que totaliza 75 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (310,70 µg/L) pertence à massa de água, Água de Pau, mas o valor máximo (1260,00 µg/L) e o valor mínimo (9,00 µg/L) são observados na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de alumínio verificado na ilha de São Miguel é de 283,62 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 75 amostras recolhidas, respectivamente iguais a 314,17 µg/L e 133,00 µg/L.

Relacionado com o arsénio foram analisadas 44 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 13,05 µg/L, desvio padrão de 17,51 µg/L, máximo de 59,30 µg/L (Morangueira - Ref. 21), mínimo de 0,21 µg/L (Ponte - Ref. 28) e mediana de 3,70 µg/L, 23 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 13,56 µg/L, desvio padrão de 44,70 µg/L, máximo de 203,00 µg/L (FC1_Vieira e Vieira - Ref. 74),

mínimo de 0,05 µg/L (Porto Formoso I - Ref. 53) e mediana de 0,49 µg/L, e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 95,44 µg/L, desvio padrão de 77,14 µg/L, máximo de 175,00 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], mínimo de 14,80 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 103,00 µg/L o que totaliza 72 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (95,44 µg/L) pertence à massa de água Sete Cidades, mas o valor máximo (203,00 µg/L) e o valor mínimo (0,05 µg/L) observam-se ambos na massa de água, Água de Pau. Na ilha de São Miguel o valor médio verificado para o teor de arsénio é de 18,93 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 72 amostras recolhidas, respectivamente iguais a 39,79 µg/L e 2,38 µg/L.

Relacionado com o cádmio foram analisadas 49 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 0,15 µg/L, desvio padrão de 0,23 µg/L, máximo de 1,52 µg/L (Camarça - Ref. 45), mínimo de 0,02 µg/L (Terra Nostra II - Ref. 8 e Gloria Patri - Ref. 16) e mediana de 0,09 µg/L, 24 amostras na massa de água, Água de Pau, média de 0,23 µg/L, desvio padrão de 0,18 µg/L, máximo de 0,78 µg/L (Lombadas Furo I - Ref. 85), mínimo de 0,04 µg/L (PIco Alto - Ref. 85) e mediana de 0,16 µg/L e cinco amostras na massa de água Sete Cidades, média de 0,47 µg/L, desvio padrão de 0,48 µg/L, máximo de 1,30 µg/L [Ferraria III (AC2) - Ref. 82], mínimo de 0,09 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 0,27 µg/L o que totaliza 78 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor médio mais elevado (0,47 µg/L) pertence à massa de água Sete Cidades mas o valor máximo (1,52 µg/L) e o valor mínimo (0,02 µg/L) observam-se na massa de água Furnas - Povoação. Na ilha de São Miguel o valor médio verificado para o teor de cádmio é de 0,20 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 78 amostras recolhidas, respectivamente iguais a 0,25 µg/L e 0,11 µg/L.

Quanto ao selénio analisaram-se 19 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 0,49 µg/L, desvio padrão de 0,35 µg/L, máximo de 1,30 µg/L (Caldeira Asmodeu - Ref. 11), mínimo de 0,20 µg/L (Água de Prata - Ref. 2, Água do Rego - Ref. 11, Terra Nostra II - Ref. 11, Valério I - Ref. 11 e Padre José - Ref. 11) e mediana de 0,40 µg/L, cinco amostras na massa de água, Água de Pau, média de 0,42 µg/L, desvio padrão de 0,22 µg/L, máximo de 0,80 µg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 69), mínimo de 0,30 µg/L (Porto Formoso II - Ref. 54, Porto Formoso III - Ref. 55 e Fumarola R.G. - Ref. 65) e mediana de 0,30 µg/L e três amostras na massa de água Sete Cidades, média de 69,93 µg/L, desvio padrão de 34,61 µg/L, máximo de 106,00 µg/L (Ferraria II - Ref. 81), mínimo de 37,00 µg/L (São Lázaro - Ref. 85) e mediana de 66,80 µg/L o que totaliza 27 amostras para a ilha de São Miguel (Tabela 6.22). O valor

médio mais elevado (69,93 µg/L) bem como o valor máximo (106,00 µg/L) pertencem à massa de água Sete Cidades, mas o valor mínimo (0,20 µg/L) é observado na massa de água Furnas - Povoação. O valor médio do teor de selénio verificado na ilha de São Miguel é de 8,19 µg/L, sendo o desvio padrão e a mediana relativos às 27 amostras recolhidas na ilha de São Miguel, respectivamente iguais a 24,23 µg/L e 0,40 µg/L.

Não se detectou mercúrio (Hg) em qualquer dos pontos de águas minerais da ilha de São Miguel.

Tabela 6.22 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha de São Miguel: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Furnas - Povoação	1	600,00	0,00	600,00	600,00	600,00
	Água de Pau	0	-	-	-	-	-
	Sete Cidades	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Miguel	**1**	**600,00**	**0,00**	**600,00**	**600,00**	**600,00**
Lítio (µg/L)	Furnas - Povoação	50	90,86	93,12	321,00	2,00	39,00
	Água de Pau	24	15,92	15,77	58,00	3,00	10,00
	Sete Cidades	5	673,20	401,50	1060,00	181,00	780,00
	Ilha de São Miguel	**79**	**104,95**	**192,49**	**1060,00**	**2,00**	**34,00**
Estrôncio (µg/L)	Furnas - Povoação	46	52,37	35,02	161,00	6,98	42,30
	Água de Pau	23	44,85	37,35	150,00	7,18	32,70
	Sete Cidades	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Miguel	**69**	**49,87**	**35,71**	**161,00**	**6,98**	**35,80**
Manganês (µg/L)	Furnas - Povoação	51	845,21	831,56	4470,00	3,10	659,00
	Água de Pau	24	941,48	1123,67	3910,00	2,50	465,00
	Sete Cidades	5	1414,66	1531,43	3050,00	10,10	982,00
	Ilha de São Miguel	**80**	**909,68**	**971,15**	**4470,00**	**2,50**	**620,00**
Ferro (µg/L)	Furnas - Povoação	45	802,17	2398,30	16000,00	7,80	230,00
	Água de Pau	19	1269,47	2128,18	7840,00	10,00	110,00
	Sete Cidades	5	372,00	358,15	1000,00	130,00	280,00
	Ilha de São Miguel	**69**	**899,68**	**2234,55**	**16000,00**	**7,80**	**210,00**
Bário (µg/L)	Furnas - Povoação	50	11,21	26,19	167,00	0,80	4,20
	Água de Pau	22	7,40	6,77	20,50	1,10	3,25
	Sete Cidades	4	22,60	26,27	61,30	3,10	13,00
	Ilha de São Miguel	**76**	**10,71**	**22,35**	**167,00**	**0,80**	**4,20**
Zinco (µg/L)	Furnas - Povoação	50	33,11	40,81	226,00	4,50	19,20
	Água de Pau	24	63,54	51,09	198,00	10,30	45,60
	Sete Cidades	5	27,30	20,43	60,00	7,50	26,30
	Ilha de São Miguel	**79**	**41,99**	**45,25**	**226,00**	**4,50**	**24,10**

Cobre (µg/L)	Furnas - Povoação	51	6,65	24,98	181,00	0,40	2,90
	Água de Pau	23	4,84	7,96	35,60	0,20	2,00
	Sete Cidades	4	46,08	28,91	81,50	19,70	41,55
	Ilha de São Miguel	**78**	**8,14**	**23,14**	**181,00**	**0,20**	**2,75**
Níquel (µg/L)	Furnas - Povoação	50	2,45	3,37	17,00	0,30	1,40
	Água de Pau	22	2,23	2,84	11,80	0,30	1,15
	Sete Cidades	5	17,86	8,95	29,10	8,30	14,50
	Ilha de São Miguel	**77**	**3,39**	**5,34**	**29,10**	**0,30**	**1,50**
Chumbo (µg/L)	Furnas - Povoação	50	0,37	0,37	1,72	0,04	0,28
	Água de Pau	22	0,99	1,90	8,02	0,05	0,23
	Sete Cidades	5	3,30	6,54	15,00	0,07	0,51
	Ilha de São Miguel	**77**	**0,74**	**1,97**	**15,00**	**0,04**	**0,28**
Cobalto (µg/L)	Furnas - Povoação	50	0,56	1,40	7,15	0,01	0,18
	Água de Pau	22	0,60	0,77	3,07	0,02	0,27
	Sete Cidades	4	2,08	3,59	7,46	0,11	0,38
	Ilha de São Miguel	**76**	**0,65**	**1,44**	**7,46**	**0,01**	**0,20**
Crómio (µg/L)	Furnas - Povoação	33	1,71	2,68	11,60	0,50	0,90
	Água de Pau	8	2,18	2,43	8,20	0,50	1,30
	Sete Cidades	1	-	-	3,00	-	-
	Ilha de São Miguel	**42**	**1,84**	**2,58**	**11,60**	**0,50**	**0,90**
Alumínio (µg/L)	Furnas - Povoação	50	292,63	354,81	1260,00	9,00	95,00
	Água de Pau	20	310,70	219,06	668,00	10,00	322,00
	Sete Cidades	5	85,20	45,57	133,00	32,00	108,00
	Ilha de São Miguel	**75**	**283,62**	**314,17**	**1260,00**	**9,00**	**133,00**
Arsénio (µg/L)	Furnas - Povoação	44	13,05	17,51	59,30	0,21	3,70
	Água de Pau	23	13,56	44,70	203,00	0,05	0,49
	Sete Cidades	5	95,44	77,14	175,00	14,80	103,00
	Ilha de São Miguel	**72**	**18,93**	**39,79**	**203,00**	**0,05**	**2,38**
Cádmio (µg/L)	Furnas - Povoação	49	0,15	0,23	1,52	0,02	0,09
	Água de Pau	24	0,23	0,18	0,78	0,04	0,16
	Sete Cidades	5	0,47	0,48	1,30	0,09	0,27
	Ilha de São Miguel	**78**	**0,20**	**0,25**	**1,52**	**0,02**	**0,11**
Selênio (µg/L)	Furnas - Povoação	19	0,49	0,35	1,30	0,20	0,40
	Água de Pau	5	0,42	0,22	0,80	0,30	0,30
	Sete Cidades	3	69,93	34,61	106,00	37,00	66,80
	Ilha de São Miguel	**27**	**8,19**	**24,23**	**106,00**	**0,20**	**0,40**
Mercúrio (µg/L)	Furnas - Povoação	0	-	-	-	-	-
	Água de Pau	0	-	-	-	-	-
	Sete Cidades	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Miguel	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.2 | ILHA TERCEIRA

Não foi detectado bromo (Br) nas águas minerais da ilha Terceira.

Relativamente ao lítio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 27,00 µg/L, desvio padrão de 24,26 µg/L, máximo de 54,00 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 6,00 µg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 24,00 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior, com o valor de 95,00 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 36,00 µg/L (Água Santa – Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 39,00 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 7 águas minerais analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de lítio é 39,71 µg/L, desvio padrão de 30,23 µg/L sendo que o valor máximo (95,00 µg/L) se observa na massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (6,00 µg/L) na massa de água Biscoitos - Terra Chã, respectivamente, apresentando a mediana o valor de 39,00 µg/L.

Quanto ao estrôncio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 783,93 µg/L, desvio padrão de 1012,45 µg/L, máximo de 2170,00 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 24,80 µg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 470,00 µg/L e uma amostra na massa de água Central com o valor de 675,00 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 5 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de estrôncio é 762,14 µg/L, desvio padrão de 878,16 µg/L, sendo que o valor máximo (2170,00 µg/L) e o valor mínimo (24,80 µg/L) se observam ambos na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 675,00 µg/L.

No que diz respeito ao manganês foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 19,83 µg/L, desvio padrão de 27,17 µg/L máximo de 60,30 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 1,80 µg/L (Bravio - Ref. 111) e mediana de 8,60 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior (Serreta II - Ref. 108), com o valor de 357,00 µg/L, uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 59,80 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 0,70 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 7 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de estrôncio é 70,97 µg/L, desvio padrão de 128,81 µg/L, sendo que o valor máximo (357,00 µg/L) se observa na massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (0,70 µg/L) na massa de água Central, apresentando a mediana o valor de 8,60 µg/L.

O ferro foi analisado em quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 345,00 µg/L, desvio padrão de 458,58 µg/L máximo de 1030,00 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 60,00 µg/L (Bravio - Ref. 111) e mediana de 145,00 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior, com o valor de 350,00 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 20,00 µg/L (Água Santa - Ref. 109), o que representa um total de 6 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de ferro é 291,67 µg/L, desvio padrão de 379,34 µg/L, sendo que o valor máximo (1030,00 µg/L) se observa na massa de água Biscoitos - Terra Chã e o valor mínimo (20,00 µg/L) na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras, apresentando a mediana o valor de 145,00 µg/L.

Relacionado com o bário, foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 4,10 µg/L, desvio padrão de 5,11 µg/L máximo de 11,50 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 0,60 µg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 2,15 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior, com o valor de 15,50 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 1,10 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 2,80 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 7 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de bário é 5,11 µg/L, desvio padrão de 5,94 µg/L, sendo que o valor máximo (15,50 µg/L) se observa na massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (0,60 µg/L) na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 2,80 µg/L.

No que concerne ao zinco foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 13,73 µg/L, desvio padrão de 16,53 µg/L máximo de 38,50 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 4,60 µg/L (Tomo do Porto - Ref. 112) e mediana de 5,90 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior (Serreta II - Ref. 108), com o valor de 17,00 µg/L, uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 27,50 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 6,00 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 7 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de zinco é 15,06 µg/L, desvio padrão de 13,34 µg/L, sendo que o valor máximo (38,50 µg/L) e o valor mínimo (4,60 µg/L) se observam ambos na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 5,40 µg/L.

O cobre foi detectado em três amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 3,60 µg/L, desvio padrão de 4,07 µg/L máximo de 8,30 µg/L (Bravio - Ref. 111), mínimo de 1,10 µg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113) e mediana de 1,40 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior, com o valor de 25,60 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 3,30 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 5,50 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 6 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de cobre é 7,53 µg/L, desvio padrão de 9,25 µg/L, sendo que o valor máximo (25,60 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (1,10 µg/L) se observa na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 4,40 µg/L.

No que diz respeito ao níquel foi analisada uma amostra na massa de água Biscoitos - Terra Chã, com o valor de 1,60 µg/L (Bravio - Ref. 111), uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior, com o valor de 49,00 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 1,30 µg/L (Água Santa - Ref. 109), o que representa um total de 3 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de níquel é 17,30 µg/L, desvio padrão de 27,45 µg/L, sendo que o valor máximo (49,00 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (1,30 µg/L) se observa na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras, apresentando a mediana o valor de 1,60 µg/L.

Relacionado com o chumbo foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 0,42 µg/L, desvio padrão de 0,62 µg/L máximo de 1,35 µg/L (Negrito - Ref. 114), mínimo de 0,09 µg/L (Bravio - Ref. 111) e mediana de 0,12 µg/L, uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 0,11 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 0,10 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 6 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de chumbo é 0,32 µg/L, desvio padrão de 0,51 µg/L, sendo que o valor máximo (1,35 µg/L) e o valor mínimo (0,09 µg/L) se observam ambos na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 0,11 µg/L.

Relativamente ao cobalto foram analisadas três amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 0,03 µg/L, desvio padrão de 0,01 µg/L, máximo de 0,04 µg/L (Bravio - Ref. 111), mínimo de 0,02 µg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113) e mediana de 0,02 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o

valor de 10,40 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 0,03 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 0,05 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 6 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de cobalto é 1,76 µg/L, desvio padrão de 4,23 µg/L, sendo que o valor máximo (10,40 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (0,02 µg/L) se observa na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 0,04 µg/L.

Não foi detectado crómio nos pontos de águas minerais da ilha Terceira (Tabela 6.23).

Quanto ao alumínio foram analisadas três amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 18,33 µg/L, desvio padrão de 6,35 µg/L, máximo de 22,00 µg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113 e Tomo do Porto - Ref. 112), mínimo de 11,00 µg/L (Bravio - Ref. 111) e mediana de 22,00 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o valor de 1840,00 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras (Água Santa - Ref. 109) com o valor de 24,00 µg/L e uma amostra na massa de água Central com o valor de 11,00 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 6 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de alumínio é 321,67 µg/L, desvio padrão de 743,85 µg/L, sendo que o valor máximo (1840,00 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (11,00 µg/L) se observa, simultaneamente na massa de água Biscoitos - Terra Chã e na massa de água Central, apresentando a mediana o valor de 22,00 µg/L.

No que concerne ao arsénio foram analisadas quatro amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 9,24 µg/L, desvio padrão de 2,31 µg/L, máximo de 12,50 µg/L (Bravio - Ref. 111), mínimo de 7,55 µg/L (Negrito - Ref. 114) e mediana de 8,46 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o valor de 13,60 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 2,56 µg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central com o valor de 10,30 µg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de 7 águas analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de arsénio é de 9,06 µg/L, desvio padrão de 3,66 µg/L, sendo que o valor máximo (13,60 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (2,56 µg/L) se observa na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras, apresentando a mediana o valor de 9,25 µg/L.

O cádmio foi detectado em três amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, valor médio de 0,03 µg/L, desvio padrão de 0,02 µg/L, máximo de 0,05 µg/L (Bravio - Ref. 111), mínimo de 0,02 µg/L (Biscoito Bravo - Ref. 113) e mediana de 0,03 µg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o valor de 0,11 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 0,10 µg/L (Água Santa - Ref. 109), o que representa um total de 5 águas minerais analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de cádmio é de 0,06 µg/L, desvio padrão de 0,04 µg/L, sendo que o valor máximo (0,11 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (0,02 µg/L) se observa na massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 0,05 µg/L.

Quanto ao selénio foi analisado em uma amostra na massa de água Biscoitos - Terra Chã, com o valor de 0,30 µg/L (Tomo do Porto - Ref. 112), uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o valor de 9,10 µg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 0,30 µg/L (Água Santa - Ref. 109), o que representa um total de 3 águas minerais analisadas para a ilha Terceira (Tabela 6.23). Na ilha Terceira o valor médio do teor de selénio é de 3,23 µg/L, desvio padrão de 5,08 µg/L, sendo que o valor máximo (9,10 µg/L) pertence à massa de água Santa Bárbara Inferior e o valor mínimo (0,30 µg/L) se observa simultaneamente na massa de água Biscoitos - Terra Chã e na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras, apresentando a mediana o valor de 0,30 µg/L.

Não foi detectado mercúrio nos pontos de águas minerais da ilha Terceira (Tabela 6.23).

Tabela 6.23 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha Terceira: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	0	-	-	-	-	-
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	0	-	-	-	-	-
	Aquifero Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

Lítio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	27,00	24,26	54,00	6,00	24,00
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	95,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	36,00	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	39,00	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**39,71**	**30,23**	**95,00**	**6,00**	**39,00**
Estrôncio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	783,93	1012,45	2170,00	24,80	470,00
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	0	-	-	-	-	-
	Central	1	-	-	675,00	-	-
	Ilha Terceira	**5**	**762,14**	**878,16**	**2170,00**	**24,80**	**675,00**
Manganês (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	19,83	27,17	60,30	1,80	8,60
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	357,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	59,80	-	-
	Central	1	-	-	0,70	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**70,97**	**128,81**	**357,00**	**0,70**	**8,60**
Ferro (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	345,00	458,58	1030,00	60,00	145,00
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	350,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	20,00	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**291,67**	**379,34**	**1030,00**	**20,00**	**145,00**
Bário (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	4,10	5,11	11,50	0,60	2,15
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	15,50	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	1,10	-	-
	Central	1	-	-	2,80	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**5,11**	**5,94**	**15,50**	**0,60**	**2,80**
Zinco (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	13,73	16,53	38,50	4,60	5,90
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	17,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	27,50	-	-
	Central	1	-	-	6,00	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**15,06**	**13,34**	**38,50**	**4,60**	**6,40**
Cobre (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	3	3,60	4,07	8,30	1,10	1,40
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	25,60	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	3,30	-	-
	Central	1	-	-	5,50	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**7,53**	**9,25**	**25,60**	**1,10**	**4,40**
Níquel (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	1	-	-	1,60	-	-
	Santa Bárbara Inferior	1	-	0-	49,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	1,30	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**3**	**17,30**	**27,45**	**49,00**	**1,30**	**1,60**
Chumbo (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	0,42	0,62	1,35	0,09	0,12
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	0,11	-	-
	Central	1	-	-	0,10	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**0,32**	**0,51**	**1,35**	**0,09**	**0,11**

Cobalto (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	3	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	10,40	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	0,03	-	-
	Central	1	-	-	0,05	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**1,76**	**4,23**	**10,40**	**0,02**	**0,04**
Crómio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	0	-	-	-	-	-
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	0	-	-	-	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Alumínio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	3	18,33	6,35	22,00	11,00	22,00
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	1840,00	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	24,00	-	-
	Central	1	-	-	11,00	-	-
	Ilha Terceira	**6**	**321,67**	**743,85**	**1840,00**	**-**	**-**
Arsénio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	4	9,24	2,31	12,50	7,55	8,46
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	13,60	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	2,56	-	-
	Central	1	-	-	10,30	-	-
	Ilha Terceira	**7**	**9,06**	**3,66**	**13,60**	**2,56**	**9,25**
Cádmio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	3	0,03	0,02	0,05	0,02	0,03
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	0,11	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	0,10	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**5**	**0,06**	**0,04**	**0,11**	**0,02**	**0,05**
Selênio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	1	-	-	0,30	-	-
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	9,10	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	0,30	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**3**	**3,23**	**5,08**	**9,10**	**0,30**	**0,30**
Mercúrio (µg/L)	Biscoitos - Terra Chã	0	-	-	-	-	-
	Santa Bárbara Inferior	0	-	-	-	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	0	-	-	-	-	-
	Central	0	-	-	-	-	-
	Ilha Terceira	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.3 | ILHA GRACIOSA

Relativamente ao bromo foi analisada uma amostra na massa de água Compósito com o valor de 8570,00 µg/L (Carapacho PS3 - Ref. 103) (Tabela 6.24).

Quanto ao lítio foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 1009,29 µg/L, desvio padrão de 870,36 µg/L, máximo de 2390,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 150,00 µg/L (Homiziados II - Ref. 105) e

mediana igual a 687,00 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 53,00 µg/L, máximo de 56,00 µg/L (Pontal - Ref. 107) e mínimo de 50,00 µg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de nove águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de lítio na ilha Graciosa é de 796,78 µg/L, desvio padrão de 863,69 µg/L, sendo que o máximo (2390,00 µg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (50,00 µg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 450,00 µg/L.

Na ilha Graciosa, o estrôncio foi detectado em uma amostra na massa de água Compósito, com o valor de 8310,00 µg/L (Carapacho PS3 - Ref. 103) e em uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com o valor de 204,00 µg/L (Corelas - Ref. 106), apresentando a média e a mediana o valor de 4257,00 µg/L (Tabela 6.24).

No que diz respeito ao manganês foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 1134,16 µg/L, desvio padrão de 1159,05 µg/L, máximo de 3120,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 5,30 µg/L (Carapacho Nascente - Ref. 99) e mediana igual a 1480,00 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 7536,10 µg/L, máximo de 14700,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 12,20 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de nove águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de manganês na ilha Graciosa é de 2516,81 µg/L, desvio padrão de 4692,36 µg/L, sendo que o máximo (14700,00 µg/L) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe e o mínimo (5,30 µg/L) à massa de água Compósito, apresentando a mediana o valor de 1480,00 µg/L.

Em relação ao ferro foram analisadas seis amostras na massa de água Compósito, valor médio de 2968,33 µg/L, desvio padrão de 4634,13 µg/L, máximo de 12100,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 150,00 µg/L (Carapacho PS3 - Ref. 102) e mediana igual a 1055,00 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 2690,00 µg/L, máximo de 5300,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 80,00 µg/L (Pontal - Ref. 107) o que representa um total de oito águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de ferro na ilha Graciosa é de 2898,75 µg/L, desvio padrão de 4159,61 µg/L, sendo que o máximo (12100,00 µg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (80,00 µg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz-Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 1055,00 µg/L.

Quanto ao bário foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 80,67 µg/L, desvio padrão de 52,75 µg/L, máximo de 166,00 µg/L (Homiziados I - Ref. 104), mínimo de 17,20 µg/L (Carapacho Nascente - Ref. 99) e mediana igual a 73,00 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 109,95 µg/L, máximo de 197,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 22,90 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de nove águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de bário na ilha Graciosa é de 87,18 µg/L, desvio padrão de 64,41 µg/L, sendo que o máximo (197,00 µg/L) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz -Guadalupe e o mínimo (17,20 µg/L) à massa de água Compósito, apresentando a mediana o valor de 73,00 µg/L.

Relativamente ao zinco foram analisadas seis amostras na massa de água Compósito, valor médio de 35,20 µg/L, desvio padrão de 14,43 µg/L, máximo de 54,20 µg/L (Carapacho PS1 - Ref. 100), mínimo de 20,10 µg/L (Carapacho Nascente - Ref. 99) e mediana igual a 34,30 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 914,80 µg/L, máximo de 1820,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 9,60 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de oito águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de zinco na ilha Graciosa é de 255,10 µg/L, desvio padrão de 632,50 µg/L, sendo que o máximo (1820,00 µg/L) e o mínimo (9,60 µg/L) pertencem ambos à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 34,30 µg/L.

Quanto ao cobre foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 56,66 µg/L, desvio padrão de 53,71 µg/L, máximo de 163,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 9,60 µg/L (Carapacho PS2 - Ref. 101) e mediana igual a 38,00 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 4,75 µg/L, máximo de 6,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 3,50 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de nove águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de cobre na ilha Graciosa é de 45,12 µg/L, desvio padrão de 51,85 µg/L, sendo que o máximo (163,00 µg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (3,50 µg/L) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 24,50 µg/L.

No que concerne ao níquel foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 58,44 µg/L, desvio padrão de 55,81 µg/L, máximo de 159,00 µg/L (Homiziados II - Ref. 105), mínimo de 7,00 µg/L (Carapacho PS2 - Ref.

101) e mediana igual a 40,00 µg/L e uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com o valor de 12,00 µg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de oito águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de níquel na ilha Graciosa é de 52,64 µg/L, desvio padrão de 54,22 µg/L, sendo que o máximo (159,00 µg/L) e o mínimo (7,00 µg/L) pertencem ambos à massa de água Compósito, apresentando a mediana o valor de 35,30 µg/L.

Em relação ao chumbo (Tabela 6.24), foram analisadas cinco amostras na massa de água Compósito, valor médio de 0,67 µg/L, desvio padrão de 0,22 µg/L, máximo de 0,90 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 0,39 µg/L (Carapacho PS2 - Ref. 101) e mediana igual a 0,75 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com um máximo de 531,00 µg/L (Corelas - Ref. 106) e um mínimo de 0,14 µg/L (Pontal - Ref. 107) o que representa um total de sete águas minerais analisadas para a ilha Graciosa. O valor médio do teor de chumbo na ilha Graciosa é de 76,35 µg/L, desvio padrão de 200,48 µg/L, sendo que o máximo (531,00 µg/L) e o mínimo (0,14 µg/L) pertencem ambos à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 0,75 µg/L.

Relativamente ao cobalto (Tabela 6.24), foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 12,64 µg/L, desvio padrão de 19,88 µg/L, máximo de 55,20 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 0,12 µg/L (Carapacho Nascente - Ref. 99) e mediana igual a 5,95 µg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, valor médio e mediana de 2,04 µg/L, máximo de 3,90 µg/L (Corelas - Ref. 106) e mínimo de 0,19 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de nove águas minerais analisadas para a ilha Graciosa. O valor médio do teor de cobalto na ilha Graciosa é de 10,28 µg/L, desvio padrão de 17,87 µg/L, sendo que o máximo (55,20 µg/L) e o mínimo (0,12 µg/L) pertencem ambos à massa de água Compósito, apresentando a mediana o valor de 3,90 µg/L.

O crómio foi analisado em uma amostra na massa de água Compósito, com o valor de 15,00 µg/L (Homiziados II - Ref. 105) e em uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe com o valor de 2,10 µg/L (Corelas - Ref. 106), apresentando a média e mediana o valor de 8,55 µg/L (Tabela 6.24).

Quanto ao alumínio foram analisadas três amostras na massa de água Compósito, valor médio de 126,00 µg/L, desvio padrão de 149,89 µg/L, máximo de 299,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 35,00 µg/L (Carapacho PS2 - Ref. 101) e mediana igual a 44,00 µg/L (Tabela 6.24).

Relativamente ao arsénio foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, valor médio de 100,33 µg/L, desvio padrão de 109,93 µg/L, máximo de 300,00 µg/L (Homiziados I - Ref. 104), mínimo de 1,00 µg/L (Homiziados II - Ref. 105) e mediana igual a 53,30 µg/L e uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com o valor de 5,10 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de oito águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de arsénio na ilha Graciosa é de 88,43 µg/L, desvio padrão de 107,20 µg/L, sendo que o máximo (300,00 µg/L) e o mínimo (1,00 µg/L) pertencem ambos à massa de água Compósito, apresentando a mediana o valor de 50,25 µg/L.

Quanto ao cádmio foram analisadas cinco amostras na massa de água Compósito, valor médio de 0,56 µg/L, desvio padrão de 0,32 µg/L, máximo de 1,05 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 0,24 µg/L (Carapacho Nascente - Ref. 99) e mediana igual a 0,60 µg/L e uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com o valor de 0,20 µg/L (Corelas - Ref. 106), o que representa um total de seis águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de cádmio na ilha Graciosa é de 0,50 µg/L, desvio padrão de 0,32 µg/L, sendo que o máximo (1,05 µg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (0,20 µg/L) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 0,46 µg/L.

O selénio foi analisado em três amostras na massa de água Compósito, valor médio de 11,03 µg/L, desvio padrão de 7,51 µg/L, máximo de 17,00 µg/L (Carapacho AC1 - Ref. 100), mínimo de 2,60 µg/L (Carapacho PS2 - Ref. 101) e mediana igual a 13,50 µg/L e uma amostra na massa de água Plataforma de Santa Cruz -Guadalupe, com o valor de 1,70 µg/L (Pontal - Ref. 107), o que representa um total de quatro águas minerais analisadas para a ilha Graciosa (Tabela 6.24). O valor médio do teor de selénio na ilha Graciosa é de 8,70 µg/L, desvio padrão de 7,71 µg/L, sendo que o máximo (17,00 µg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (1,70 µg/L) pertence à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor igual a 8,05 µg/L.

Não foi detectado mercúrio (Hg) nos pontos de águas minerais da ilha Graciosa.

Tabela 6.24 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha Graciosa: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Compósito	1	-	-	8570,00	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	0	-	-	-	-	-
	Ilha da Graciosa	**1**	-	**-**	8570,00	-	-
Lítio (µg/L)	Compósito	7	1009,29	870,36	2390,00	150,00	687,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	53,00	-	56,00	50,00	53,00
	Ilha da Graciosa	**9**	**796,78**	**863,69**	**2390,00**	**50,00**	**450,00**
Estrôncio (µg/L)	Compósito	1	-	-	8310,00	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	204,00	-	-
	Ilha da Graciosa	**2**	**4257,00**	**5731,81**	**8310,00**	**204,00**	**4257,00**
Manganês (µg/L)	Compósito	7	1134,16	1159,05	3120,00	5,30	1480,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	7356,10	-	14700,00	12,20	7356,10
	Ilha da Graciosa	**9**	**2516,81**	**4692,36**	**14700,00**	**5,30**	**1480,00**
Ferro (µg/L)	Compósito	6	2968,33	4634,13	12100,00	150,00	1055,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	2690,00	-	5300,00	80,00	2690,00
	Ilha da Graciosa	**8**	**2898,75**	**4159,61**	**12100,00**	**80,00**	**1055,00**
Bário (µg/L)	Compósito	7	80,67	52,75	166,00	17,20	73,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	109,95	-	197,00	22,90	109,95
	Ilha da Graciosa	**9**	**87,18**	**64,41**	**197,00**	**17,20**	**73,00**
Zinco (µg/L)	Compósito	6	35,20	14,43	54,20	20,00	34,30
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	914,80	-	1820,00	9,60	914,80
	Ilha da Graciosa	**8**	**255,10**	**632,50**	**1820,00**	**9,60**	**34,30**
Cobre (µg/L)	Compósito	7	56,66	53,71	163,00	9,60	38,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	4,75	-	6,00	3,50	4,75
	Ilha da Graciosa	**9**	**45,12**	**51,85**	**163,00**	**3,50**	**24,50**
Níquel (µg/L)	Compósito	7	58,44	55,81	159,00	7,00	40,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	12,00	12,00	-
	Ilha da Graciosa	**8**	**52,64**	**54,22**	**159,00**	**7,00**	**35,30**
Chumbo (µg/L	Compósito	5	0,67	0,22	0,90	0,39	0,75
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	265,57	-	531,00	0,14	265,57
	Ilha da Graciosa	**7**	**76,35**	**200,48**	**531,00**	**0,14**	**0,75**
Cobalto (µg/L)	Compósito	7	12,64	19,88	55,20	0,12	5,95
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	2,04	-	3,90	0,19	2,04
	Ilha da Graciosa	**9**	**10,28**	**17,87**	**55,20**	**0,12**	**3,90**
Crómio (µg/L)	Compósito	1	-	-	15,00	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	2,10	-	-
	Ilha da Graciosa	**2**	**8,55**	**-**	**15,00**	**2,10**	**8,55**
Alumínio (µg/L)	Compósito	3	126,00	149,89	299,00	35,00	44,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	0	-	-	-	-	-
	Ilha da Graciosa	**3**	**126,00**	**149,89**	**299,00**	**35,00**	**44,00**

Arsénio (µg/L)	Compósito	7	100,33	109,93	300,00	1,00	53,30
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	5,10	-	-
	Ilha da Graciosa	**8**	**88,43**	**107,20**	**300,00**	**1,00**	**50,25**
Cádmio (µg/L)	Compósito	5	0,56	0,32	1,05	0,24	0,60
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	0,20	-	-
	Ilha da Graciosa	**6**	**0,50**	**0,32**	**1,05**	**0,20**	**0,46**
Selênio (µg/L)	Compósito	3	11,03	7,51	17,00	2,60	13,50
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	1	-	-	1,70	-	-
	Ilha da Graciosa	**4**	**8,70**	**7,71**	**17,00**	**1,70**	**8,05**
Mercúrio (µg/L)	Compósito	0	-	-	-	-	-
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	0	-	-	-	-	-
	Ilha da Graciosa	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.4 | ILHA DO FAIAL

Na ilha do Faial não foi detectado bromo nos pontos de águas minerais (Tabela 6.25).

Quanto ao lítio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 214,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 33,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, sendo que a média e a mediana apresentam o valor de 123,50 µg/L (Tabela 6.25).

Na ilha do Faial o estrôncio foi apenas detectado em uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco Oriental, com o valor de 994,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) (Tabela 6.25).

No que diz respeito ao manganês foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 117,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 1740,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, sendo que a média e a mediana apresentam o valor de 928,50 µg/L (Tabela 6.25).

Em relação ao ferro foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 160,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 9170,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, sendo que a média e a mediana apresentam o valor de 4665,00 µg/L (Tabela 6.25).

Quanto ao bário foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 10,70 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 21,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 15,85 µg/L (Tabela 6.25).

Relativamente ao zinco foi analisada uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 556,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91) (Tabela 6.25).

Quanto ao cobre foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 78,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 7,40 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana igual a 42,70 µg/L (Tabela 6.25).

No que concerne ao níquel foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 15,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 19,20 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana igual a 17,10 µg/L (Tabela 6.25).

Em relação ao chumbo foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 1,75 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 0,43 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 1,09 µg/L (Tabela 6.25).

Relativamente ao cobalto foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 0,70 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 10,50 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 5,60 µg/L (Tabela 6.25).

O crómio não foi detectado em nenhuma água mineral colhida para análise na ilha do Faial (Tabela 6.25).

Quanto ao alumínio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 40,00 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 35,00 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 37,50 µg/L (Tabela 6.25).

Em relação ao arsénio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 61,40 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 7,39 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 34,40 µg/L (Tabela 6.25).

Quanto ao cádmio foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 0,49 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e uma amostra na massa de água Cedros - Castelo Branco com o valor de 0,13 µg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), o que representa um total de duas águas minerais analisadas, com valor médio e mediana de 0,31 µg/L (Tabela 6.25).

O selénio foi analisado em uma amostra na massa de água Capelo, com o valor de 2,30 µg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) (Tabela 6.25).

Não foi detectado mercúrio nos pontos de águas minerais da ilha do Faial (Tabela 6.25).

Tabela 6.25 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha do Faial: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Lítio (µg/L)	Capelo	1	-	-	214,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	33,00	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**123,50**	**-**	**214,00**	**33,00**	**123,50**
Estrôncio (µg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	994,00	-	-
	Ilha do Faial	**1**	**-**	**-**	**994,00**	**-**	**-**
Manganês (µg/L)	Capelo	1	-	-	117,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	1740,00	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**928,50**	**-**	**1740,00**	**117,00**	**928,50**
Ferro (µg/L)	Capelo	1	-	-	160,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	9170,00	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**4665,00**	**-**	**9170,00**	**160,00**	**4665,00**
Bário (µg/L)	Capelo	1	-	-	10,70	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	21,00	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**15,85**	**-**	**21,00**	**10,70**	**15,85**

Zinco (µg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	556,00	-	-
	Ilha do Faial	**1**	**-**	**-**	**556,00**	**-**	**-**
Cobre (µg/L)	Capelo	1	-	-	78,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	7,40	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**42,70**	**-**	**78,00**	**7,40**	**42,70**
Níquel (µg/L)	Capelo	1	-	-	15,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	19,20	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**17,10**	**-**	**19,20**	**15,00**	**17,10**
Chumbo (µg/L)	Capelo	1	-	-	1,75	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	0,43	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**1,09**	**-**	**1,75**	**0,43**	**1,09**
Cobalto (µg/L)	Capelo	1	-	-	0,70	0,70	0,70
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	10,50	10,50	10,50
	Ilha do Faial	**2**	**5,60**	**-**	**10,50**	**0,70**	**5,60**
Crómio (µg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Alumínio (µg/L)	Capelo	1	-	-	40,00	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	35,00	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**37,50**	**-**	**40,00**	**35,00**	**37,50**
Arsénio (µg/L)	Capelo	1	-	-	61,40	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	7,39	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**34,40**	**-**	**61,40**	**7,39**	**34,40**
Cádmio (µg/L)	Capelo	1	-	-	0,49	-	-
	Cedros - Castelo Branco	1	-	-	0,13	-	-
	Ilha do Faial	**2**	**0,31**	**-**	**0,49**	**-**	**-**
Selênio (µg/L)	Capelo	1	-	-	2,30	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**1**	**-**	**-**	**2,30**	**-**	**-**
Mercúrio (µg/L)	Capelo	0	-	-	-	-	-
	Cedros - Castelo Branco	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Faial	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Na ilha de São Jorge não foi detectado bromo nos pontos de águas minerais (Tabela 6.26).

Quanto ao lítio foi analisada uma amostra na massa de água Oriental com o valor de 3,00 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) (Tabela 6.26).

Na ilha de São Jorge, o estrôncio foi detectado em três amostras na massa de água Oriental, valor médio de 111,00 µg/L, desvio padrão de 1,73 µg/L, máximo de 113,00 µg/L (Fajã dos Vimes I - Ref. 93), mínimo e mediana igual a 110,00 g/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) (Tabela 6.26).

No que diz respeito ao manganês, foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 234,00 µg/L, desvio padrão de 229,93 µg/L, máximo de 578,00 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 103,00 µg/L (Fajã dos Vimes II - Ref. 94) e mediana igual a 127,50 µg/L (Tabela 6.26).

Em relação ao ferro foram analisadas cinco amostras na massa de água Oriental, valor médio de 136,00 µg/L, desvio padrão de 88,77 µg/L, máximo de 240,00 µg/L (Fajã dos Vimes II - Ref. 94), mínimo de 40,00 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana igual a 100,00 µg/L (Tabela 6.26).

Quanto ao bário foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 6,03 µg/L, desvio padrão de 2,97 µg/L, máximo de 10,40 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 3,80 µg/L (Fajã dos Vimes II - Ref. 94) e mediana igual a 4,95 µg/L (Tabela 6.26).

Relativamente ao zinco foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 22,48 µg/L, desvio padrão de 6,94 µg/L, máximo de 28,70 µg/L (Fajã dos Vimes II - Ref. 94), mínimo de 13,90 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) e mediana igual a 23,65 µg/L (Tabela 6.26).

Quanto ao cobre foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 2,03 µg/L, desvio padrão de 0,33 µg/L, máximo de 2,40 µg/L (Fajã dos Vimes I - Ref. 93), mínimo de 1,60 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana igual a 2,05 µg/L (Tabela 6.26).

No que concerne ao níquel foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 1,18 µg/L, desvio padrão de 0,87 µg/L, máximo de 2,40 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 0,40 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana igual a 0,95 µg/L (Tabela 6.26).

Em relação ao chumbo foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 0,37 µg/L, desvio padrão de 0,16 µg/L, máximo de 0,51 µg/L (Fajã dos Vimes I - Ref. 93), mínimo de 0,19 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) e mediana igual a 0,39 µg/L (Tabela 6.26).

Relativamente ao cobalto foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 1,06 µg/L, desvio padrão de 1,65 µg/L, máximo de 3,53 µg/L

(Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 0,17 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana igual a 0,27 µg/L (Tabela 6.26).

O crómio foi analisado em uma amostra na massa de água Oriental, com o valor de 0,80 µg/L (Fajã dos Vimes II - Ref. 94) (Tabela 6.26).

Quanto ao alumínio foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 102,75 µg/L, desvio padrão de 67,91 µg/L, máximo de 197,00 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95), mínimo de 41,00 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) e mediana igual a 86,50 µg/L (Tabela 6.26).

Em relação ao arsénio foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 0,41 µg/L, desvio padrão de 0,35 µg/L, máximo de 0,94 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 0,19 µg/L (Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e mediana igual a 0,26 µg/L (Tabela 6.26).

Quanto ao cádmio foram analisadas quatro amostras na massa de água Oriental, valor médio de 0,09 µg/L, desvio padrão de 0,02 µg/L, máximo de 0,13 µg/L (Fajã dos Vimes I - Ref. 93), mínimo de 0,07 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) e mediana igual a 0,08 µg/L (Tabela 6.26).

O selénio foi analisado em três amostras na massa de água Oriental, valor médio de 0,37 µg/L, desvio padrão de 0,12 µg/L, máximo de 0,50 µg/L (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), mínimo de 0,30 µg/L (Fajã dos Vimes I e III - Ref. 93 e 95) e mediana igual a 0,30 µg/L (Tabela 6.26).

Não foi detectado mercúrio nos pontos de águas minerais da ilha de São Jorge (Tabela 6.26).

Tabela 6.26 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha de São Jorge: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Oriental	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Jorge	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Lítio (µg/L)	Oriental	1	-	-	3,00	-	-
	Ilha de São Jorge	**1**	**-**	**-**	**3,00**	**-**	**-**
Estrôncio (µg/L)	Oriental	3	111,00	1,73	113,00	110,00	110,00
	Ilha de São Jorge	**3**	**111,00**	**1,73**	**113,00**	**110,00**	**110,00**
Manganês (µg/L)	Oriental	4	234,00	229,93	578,00	103,00	127,50
	Ilha de São Jorge	**4**	**234,00**	**229,93**	**578,00**	**103,00**	**127,50**

Ferro (µg/L)	Oriental	5	136,00	88,77	240,00	40,00	100,00
	Ilha de São Jorge	**5**	**136,00**	**88,77**	**240,00**	**40,00**	**100,00**
Bário (µg/L)	Oriental	4	6,03	2,97	10,40	3,80	4,95
	Ilha de São Jorge	**4**	**6,03**	**2,97**	**10,40**	**3,80**	**4,95**
Zinco (µg/L)	Oriental	4	22,48	6,94	28,70	13,90	23,65
	Ilha de São Jorge	**4**	**22,48**	**6,94**	**28,70**	**13,90**	**23,65**
Cobre (µg/L)	Oriental	4	2,03	0,33	2,40	1,60	2,05
	Ilha de São Jorge	**4**	**2,03**	**0,33**	**2,40**	**1,60**	**2,05**
Níquel (µg/L)	Oriental	4	1,18	0,87	2,40	0,40	0,95
	Ilha de São Jorge	**4**	**1,18**	**0,87**	**2,40**	**0,40**	**0,95**
Chumbo (µg/L)	Oriental	4	0,37	0,16	0,51	0,19	0,39
	Ilha de São Jorge	**4**	**0,37**	**0,16**	**0,51**	**0,19**	**0,39**
Cobalto (µg/L)	Oriental	4	1,06	1,65	3,53	0,17	0,27
	Ilha de São Jorge	**4**	**1,06**	**1,65**	**3,53**	**0,17**	**0,27**
Crómio (µg/L)	Oriental	1	-	-	0,80	-	-
	Ilha de São Jorge	**1**	**-**	**-**	**0,80**	**-**	**-**
Alumínio (µg/L)	Oriental	4	102,75	67,91	197,00	41,00	86,50
	Ilha de São Jorge	**4**	**102,75**	**67,91**	**197,00**	**41,00**	**86,50**
Arsénio (µg/L)	Oriental	4	0,41	0,35	0,94	0,19	0,26
	Ilha de São Jorge	**4**	**0,41**	**0,35**	**0,94**	**0,19**	**0,26**
Cádmio (µg/L)	Oriental	4	0,09	0,02	0,13	0,07	0,08
	Ilha de São Jorge	**4**	**0,09**	**0,02**	**0,13**	**0,07**	**0,08**
Selênio (µg/L)	Oriental	3	0,37	0,12	0,50	0,30	0,30
	Ilha de São Jorge	**3**	**0,37**	**0,12**	**0,50**	**0,30**	**0,30**
Mercúrio (µg/L)	Oriental	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Jorge	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.6 | ILHA DO PICO

Na ilha do Pico não foi detectado bromo nos pontos de águas minerais (Tabela 6.27).

Quanto ao lítio foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, tendo sido observados um valor máximo de 9,90 µg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e um valor mínimo de 6,00 µg/L (Silveira - Ref. 88). O valor da média e mediana são iguais a 7,95 µg/L (Tabela 6.27).

Na ilha do Pico o estrôncio foi detectado em duas amostras na massa de água Piedade, com um máximo e um mínimo de 670,10 µg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e de 189,00 µg/L (Silveira - Ref. 88) respectivamente. A média e a mediana é igual a 429,55 µg/L (Tabela 6.27).

No que diz respeito ao manganês foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade, com uma média e uma mediana igual a 12,40 µg/L, com um valor máximo de 14,80 µg/L (Silveira - Ref. 88) e com um valor mínimo de 10,00 µg/L (Santo Amaro - Ref. 89) (Tabela 6.27).

Na ilha do Pico foi colhida uma só amostra (Silveira - Ref. 88) pertencente a massa de água Piedade. Aquela amostra foi analisada para os elementos menores e em traço, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, alumínio, arsénio, cádmio, selénio, cujos valores registados, em µg/L, foram os seguintes : 130,00, 6,90, 139,00, 14,30, 0,89, 0,08, 330,00, 1,09, 0,12, 0,50. Não foi detectado nem crómio, nem mercúrio nas amostras analisadas relativas aos pontos de águas minerais da ilha do Pico (Tabela 6.27).

Tabela 6.27 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha do Pico: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Piedade	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Pico	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Lítio (µg/L)	Piedade	2	7,95	-	9,90	6,00	7,95
	Ilha do Pico	**2**	**7,95**	**-**	**9,90**	**6,00**	**7,95**
Estrôncio (µg/L)	Piedade	2	429,55	-	670,10	189,00	429,55
	Ilha do Pico	**2**	**429,55**	**-**	**670,10**	**189,00**	**429,55**
Manganês (µg/L)	Piedade	2	12,40	-	14,80	10,00	12,40
	Ilha do Pico	**2**	**12,40**	**3-**	**14,80**	**10,00**	**12,40**
Ferro (µg/L)	Piedade	1	-	-	130,00	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**130,00**	**-**	**-**
Bário (µg/L)	Piedade	1	-	-	6,90	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**6,90**	**-**	**-**
Zinco (µg/L)	Piedade	1	-	-	139,00	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**139,00**	**-**	**-**
Cobre (µg/L)	Piedade	1	-	-	14,30	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**14,30**	**-**	**-**
Níquel (µg/L)	Piedade	1	-	-	3,40	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**3,40**	**-**	**-**
Chumbo (µg/L)	Piedade	1	-	-	0,89	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**0,89**	**-**	**-**
Cobalto (µg/L)	Piedade	1	-	-	0,08	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**0,08**	**-**	**-**

Crómio (µg/L)	Piedade	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Pico	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Alumínio (µg/L)	Piedade	1	-	-	330,00	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**330,00**	**-**	**-**
Arsénio (µg/L)	Piedade	1	-	-	1,09	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**1,09**	**-**	**-**
Cádmio (µg/L)	Piedade	1	-	-	0,12	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**0,12**	**-**	**-**
Selênio (µg/L)	Piedade	1	-	-	0,50	-	-
	Ilha do Pico	**1**	**-**	**-**	**0,50**	**-**	**-**
Mercúrio (µg/L)	Piedade	0	-	-	-	-	-
	Ilha do Pico	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.4.7 | ILHA DAS FLORES

Na ilha das Flores não foi detectado bromo nos pontos de águas minerais (Tabela 6.28).

Relativamente ao lítio foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um valor máximo de 55,00 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo de 30,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86). O valor da média e da mediana são iguais a 42,50 µg/L (Tabela 6.28).

O estrôncio não foi detectado nos pontos de água minerais na ilha das Flores (Tabela 6.28).

No que diz respeito ao manganês foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, tendo sido observados um valor máximo de 266,00 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo de 137,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86). O valor da média e mediana são iguais a 201,50 µg/L (Tabela 6.28).

Em relação ao ferro, foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um máximo de 470,00 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e um mínimo de 270,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86). A média e a mediana têm um valor semelhante e numericamente igual a 370,00 µg/L (Tabela 6.28).

Quanto ao bário, foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um máximo de 232,00 µg/L (Lajedo - Ref. 87), um mínimo de 38,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86), uma média e uma mediana de 135,00 µg/L (Tabela 6.28).

Relativamente ao zinco, foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, com uma média e uma mediana igual a 28,55 µg/L, com um valor máximo de

29,50 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e com um valor mínimo de 27,20 µg/L (Lajedo - Ref. 87) (Tabela 6.28).

Quanto ao cobre foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um máximo de 4,30 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e um mínimo de 2,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86). A média e a mediana têm igual valor (3,15 µg/L) (Tabela 6.28).

No que concerne ao níquel foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior que apresentam um valor máximo de 1,70 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e um valor mínimo de 0,60 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86), uma média e mediana de 1,15 µg/L (Tabela 6.28).

Em relação ao chumbo foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um valor de 0,40 µg/L (Lajedo - Ref. 87), máximo, e um valor de 0,35 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86), mínimo. A média e a mediana é igual a 0,38 µg/L (Tabela 6.28).

Relativamente ao cobalto foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, com uma média e uma mediana igual 0,31 µg/L., com um valor máximo de 0,36 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86) e com um valor mínimo de 0,27 µg/L (Lajedo - Ref. 87) (Tabela 6.28).

O crómio não foi detectado na ilha das Flores (Tabela 6.28).

Quanto ao alumínio foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com um máximo e um mínimo de 57,00 µg/L (Lajedo - Ref. 87) e de 28,00 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86) respectivamente. A média e a mediana é igual a 42,50 µg/L (Tabela 6.28).

Em relação ao arsénio, foram examinadas duas amostras na massa de água Inferior cujos valores númericos de 4,87 µg/L (máximo) e 2,11 µg/L (mínimo) têm correspondência com os pontos de água mineral do Lajedo (Ref. 87) e do Poio Moreno (Ref. 86) respectivamente. A média e a mediana é igual a 3,49 µg/L (Tabela 6.28).

Quanto ao cádmio foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior com os valores de 0,10 µg/L (Lajedo - Ref. 87), máximo, e 0,06 µg/L (Poio Moreno - Ref. 86), mínimo. Tanto a média como mediana apresentam igual valor númerico (0,08 µg/L) (Tabela 6.28).

O selénio foi analisado em uma amostra na massa de água Inferior com o valor de 0,20 µg/L (Tabela 6.28).

Não foi detectado mercúrio nos pontos de águas minerais da ilha das Flores (Tabela 6.28).

Tabela 6.28 | Elementos menores e em traço nas águas minerais da ilha das Flores: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Inferior	0	-	-	-	-	-
	Ilha das Flores	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Lítio (µg/L)	Inferior	2	42,50	-	55,00	30,00	42,50
	Ilha das Flores	**2**	**42,50**	**-**	**55,00**	**30,00**	**42,50**
Estrôncio (µg/L)	Inferior	0	-	-	-	-	-
	Ilha das Flores	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Manganês (µg/L)	Inferior	2	201,50	-	266,00	137,00	201,50
	Ilha das Flores	**2**	**201,50**	**-**	**266,00**	**137,00**	**201,50**
Ferro (µg/L)	Inferior	2	370,00	-	470,00	270,00	370,00
	Ilha das Flores	**2**	**370,00**	**-**	**470,00**	**270,00**	**370,00**
Bário (µg/L)	Inferior	2	135,00		232,00	38,00	135,00
	Ilha das Flores	**2**	**135,00**	**-**	**232,00**	**38,00**	**135,00**
Zinco (µg/L)	Inferior	2	28,35	-	29,50	27,20	28,35
	Ilha das Flores	**2**	**28,35**	**-**	**29,50**	**27,20**	**28,35**
Cobre (µg/L)	Inferior	2	3,15	-	4,30	2,00	3,15
	Ilha das Flores	**2**	**3,15**	**-**	**4,30**	**2,00**	**3,15**
Níquel (µg/L)	Inferior	2	1,15	-	1,70	0,60	1,15
	Ilha das Flores	**2**	**1,15**	**-**	**1,70**	**0,60**	**1,15**
Chumbo (µg/L)	Inferior	2	0,38	-	0,40	0,35	0,38
	Ilha das Flores	**2**	**0,38**	**-**	**0,40**	**0,35**	**0,38**
Cobalto (µg/L)	Inferior	2	0,31	-	0,36	0,27	0,31
	Ilha das Flores	**2**	**0,31**	**-**	**0,36**	**0,27**	**0,31**
Crómio (µg/L)	Inferior	0	-	-	-	-	-
	Ilha das Flores	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Alumínio (µg/L)	Inferior	2	42,50	-	57,00	28,00	42,50
	Ilha das Flores	**2**	**42,50**	**-**	**57,00**	**28,00**	**42,50**
Arsénio (µg/L)	Inferior	2	3,49	-	4,87	2,11	3,49
	Ilha das Flores	**2**	**3,49**	**-**	**4,87**	**2,11**	**3,49**
Cádmio (µg/L)	Inferior	2	0,08	-	0,10	0,06	0,08
	Ilha das Flores	**2**	**0,08**	**-**	**0,10**	**0,06**	**0,08**
Selênio (µg/L)	Inferior	1	-	-	0,20	0,20	0,20
	Ilha das Flores	**1**	**-**	**-**	**0,20**	**0,20**	**0,20**
Mercúrio (µg/L)	Inferior	0	-	-	-	-	-
	Ilha das Flores	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

6.5 | SÍLICA (SIO_2)

6.5.1 | ILHA DE SÃO MIGUEL

Na ilha de São Miguel foram analisadas 52 amostras na massa de água Furnas - Povoação, média de 152,07 mg/L, desvio padrão de 76,54 mg/L, máximo de 433,11 mg/L (Caldeira dos Tambores - Ref. 41), mínimo de 41,80 mg/L (Quenturas II - Ref. 13) e mediana igual a 130,28 mg/L, 26 amostras Na massa de água, Água de Pau, média de 117,30 mg/L, desvio padrão de 52,47 mg/L, máximo de 273,77 mg/L (Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70), mínimo de 45,51 mg/L (Caldeira Velha Nascente - Ref. 69) e uma mediana igual a 120,24 mg/L, e seis amostras na massa de água Sete Cidades, média de 140,75 mg/L, desvio padrão de 35,31 mg/L, máximo de 206,76 mg/L [Ferraria IV (AC3) - Ref. 83], mínimo de 107,60 mg/L (Ferraria I - Ref. 80) e a mediana igual a 136,76 mg/L, o que representa um total de 85 amostras analisadas. Na ilha de São Miguel a média do teor de sílica é de 140,23 mg/L, desvio padrão de 68,84 mg/L, sendo que o máximo (433,11 mg/L) e o mínimo (41,80 mg/L) pertencem ambos à massa de água Furnas - Povoação, apresentando a mediana o valor de 129,69 mg/L (Tabela 6.29).

Tabela 6.29 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha de São MIguel.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Furnas - Povoação	52	152,07	76,54	433,11	41,80	130,28
	Água de Pau	26	119,99	51,57	273,77	45,51	124,97
	Sete Cidades	6	140,75	35,31	206,76	107,60	136,76
	Ilha de São Miguel	**84**	**141,34**	**68,49**	**433,11**	**41,80**	**129,69**

6.5.2| ILHA TERCEIRA

Na ilha Terceira foram analisadas cinco amostras na massa de água Biscoitos - Terra Chã, média de 74,96 mg/L, desvio padrão de 37,36 mg/L, máximo de 140,50 mg/L (Furo de Angra - Ref. 116), mínimo de 48,67 mg/L (Negrito - Ref. 114) e mediana igual a 64,32 mg/L, uma amostra na massa de água Santa Bárbara Inferior com o valor de 65,05 mg/L (Serreta II - Ref. 108), uma amostra na massa de água Labaçal - Quatro Ribeiras com o valor de 62,71 mg/L (Água Santa - Ref. 109) e uma amostra na massa de água Central, com o valor de 59,12 mg/L (Silveira - Ref. 110), o que representa um total de oito amostras analisadas. Na ilha Terceira, a média de teor de sílica é de 70,21 mg/L, desvio padrão de 29,04 mg/L, sendo que o máximo (140,50

mg/L) e o mínimo (48,67 mg/L) pertencem ambos à massa de água Biscoitos - Terra Chã, apresentando a mediana o valor de 63,52 mg/L (Tabela 6.30).

Tabela 6.30 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha Terceira.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Biscoitos - Terra Chã	5	74,96	37,36	140,50	48,67	64,32
	Santa Bárbara Inferior	1	-	-	65,05	-	-
	Labaçal - Quatro Ribeiras	1	-	-	62,71	-	-
	Aquifero Central	1	-	-	59,12	-	-
	Ilha Terceira	**8**	**70,21**	**29,04**	**140,50**	**48,67**	**63,52**

6.5.3 | ILHA GRACIOSA

Na ilha Graciosa foram analisadas sete amostras na massa de água Compósito, média de 109,13 mg/L, desvio padrão de 38,88 mg/L, máximo de 172,12 mg/L (Homiziados I - Ref. 104), mínimo de 41,79 mg/L (Carapacho PS1 - Ref. 101) e mediana igual a 111,00 mg/L e duas amostras na massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, com um valor máximo de 88,60 mg/L (Corelas - Ref. 106), um valor mínimo de 26,05 mg/L (Pontal - Ref. 107), uma média e uma mediana de 57,33 mg/L e um desvio padrão igual a 44,23 mg/L, representando um total de nove amostras analisadas. Na ilha Graciosa o teor de sílica apresenta valor médio igual a 97,61 mg/L, desvio padrão de 43,59 mg/L, sendo que o máximo (172,12 mg/L) pertence à massa de água Compósito e o mínimo (26,05 mg/L) à massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, apresentando a mediana o valor de 103,13 mg/L (Tabela 6.31).

Tabela 6.31 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha Graciosa.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Compósito	7	109,13	38,88	172,12	41,79	111,00
	Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe	2	57,33	-	88,60	26,05	57,33
	Ilha da Graciosa	**9**	**97,61**	**43,59**	**172,12**	**26,05**	**103,13**

6.5.4 | ILHA DO FAIAL

Na ilha do Faial foi analisada uma amostra na massa de água Capelo com o valor de 111,42 mg/L (Capelo AC4 - Ref. 90) e duas amostras na massa de água Cedros - Castelo Branco, com os valores máximo e mínimo, de 90,76 mg/L (Fajã - Ref. 92) e 78,94 mg/L (Varadouro PS4 - Ref. 91), média e mediana de 84,85 mg/L e desvio

padrão de 8,36 mg/L, o que perfaz um total de três amostras analisadas. Na ilha do Faial o teor de sílica apresenta o valor médio igual a 97,61 mg/L, desvio padrão de 16,44 mg/L, sendo que o máximo (111,42 mg/L) pertence à massa de água Capelo e o mínimo (78,94 mg/L) à massa de água Cedros - Castelo Branco, apresentando a mediana o valor de 90,76 mg/L (Tabela 6.32).

Tabela 6.32 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha do Faial.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo)	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Capelo	1	-	-	111,42	-	-
	Cedros - Castelo Branco	2	84,85	-	90,76	78,94	84,85
	Ilha do Faial	**3**	**93,71**	**16,44**	**111,42**	**78,94**	**90,76**

6.5.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Na ilha de São Jorge foram analisadas seis amostras na massa de água Oriental média de 61,53 mg/L, desvio padrão de 25,41 mg/L, máximo de 97,20 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89), mínimo de 37,46 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89) e mediana igual a 53,43 mg/L (Tabela 6.33).

Tabela 6.33 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha de São Jorge.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Oriental	6	61,53	25,41	97,20	37,46	53,43
	Ilha de São Jorge	**6**	**61,53**	**25,41**	**97,20**	**37,46**	**53,43**

6.5.6 | ILHA DE PICO

Na ilha do Pico foram analisadas duas amostras na massa de água Piedade com um valor, máximo de 56,23 mg/L (SIlveira - Ref. 88), mínimo de 35,00 mg/L (Santo Amaro - Ref. 89), de mediana e de média igual a 45,62 mg/L e de desvio padrão igual a 8,36 mg/L (Tabela 6.34).

Tabela 6.34 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha do Pico.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Piedade	2	45,62	-	56,23	35,00	45,62
	Ilha do Pico	**2**	**45,62**	**-**	**56,23**	**35,00**	**45,62**

6.5.7 | ILHA DAS FLORES

Na ilha das Flores foram analisadas duas amostras na massa de água Inferior, com um máximo de 99,11mg/L (Poio Moreno - Ref. 86), um mínimo de 88,74 mg/L (Lajedo - Ref. 87), um desvio padrão de 7,33 mg/L, uma média e uma mediana de 93,93 mg/L (Tabela 6.35).

Tabela 6.35 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais da ilha das Flores.

	Massas de Água	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sílica (mg/L)	Inferior	2	93,93	-	99,11	88,74	93,93
	Ilha das Flores	**2**	**93,93**	**-**	**99,11**	**88,74**	**93,93**

6.6 | FÁCIES HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES

Designa-se por fácies hidrogeoquímica a expressão da composição química da água, atendendo aos aniões e catiões dominantes. A partir da análise química de uma água pode inferir-se, de uma forma simplificada, da fácies da mesma, utilizando gráficos e diagramas muito úteis, especialmente quando se trata de efectuar comparações entre várias análises de água de um mesmo local em épocas diferentes ou de diferentes locais (Custódio & Llamas, 1983).

O diagrama de Piper é a representação gráfica do resultado de análises químicas, constituído por dois triângulos, cujos vértices estão representados em percentagem pelos catiões e aniões principais (Custódio & Llamas, 1983).

O diagrama de Piper permite projectar um número elevado de pontos, reflectindo facilmente processos como precipitações, dissoluções e misturas de águas. É utilizado frequentemente quando se trabalha com um número elevado de análises químicas, sendo útil na classificação e comparação dos distintos grupos de águas no que diz respeito aos iões dominantes (Custódio & Llamas, 1983).

O diagrama de Schoeller é constituido por várias semi-rectas verticais igualmente espaçadas, com escalas logarítmicas, todas, com o mesmo módulo, onde se encontram concentrações absolutas em meq/L; todas as semi - rectas apresentam iguais potências de 10 na mesma linha horizontal. A cada semi-recta esta associado um catião ou anião, cuja ordenação da esquerda para a direita é a seguinte: Mg^{2+}, Ca^{2+}, Na^{+} + K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}. A inclinação da recta que une os pontos representativos de dois iões mede a sua relação (Custódio & Llamas, 1983).

O diagrama de Schoeller é normalmente utilizado no estudo de zonas com águas não muito diversificadas, ou seja, põe em evidência a homogeneidade composicional daquelas (Cuz, 2004).

6.6.1 | ILHA DE SÃO MIGUEL

As fácies hidrogeoquímicas na Ilha de S. Miguel, correspondem genericamente a águas dos tipos bicarbonatada sódica e cloretada sódica, observando-se no entanto alguns tipos de água cuja classificação é intermédia: tipos cloretada bicarbonatada e bicarbonatada cloretada, bicarbonatada sulfatada, sulfatada cloretada e sulfatada no que respeita ao triângulo dos aniões, e tipos calco-sódica, cálcica e sódica magnesiana no que concerne ao triângulo dos catiões (Figura 6.1).

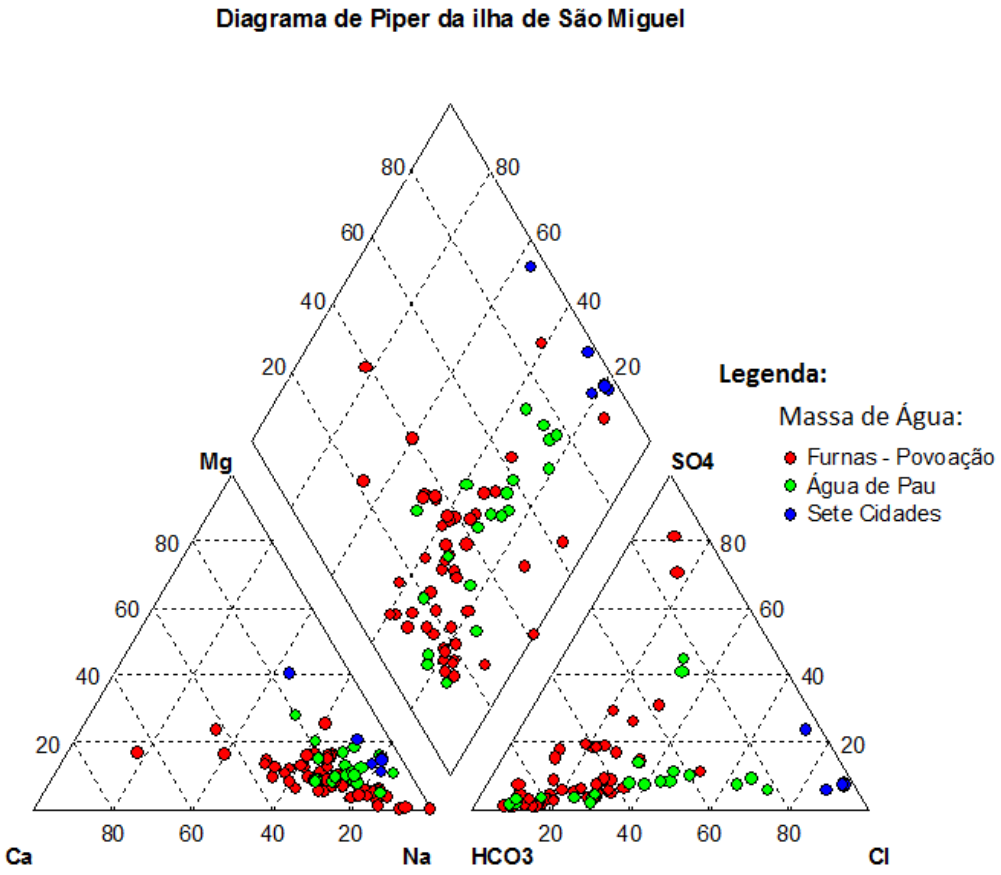


Figura 6.1 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da Ilha de São Miguel.

O diagrama de Schoeller evidencia, no geral, uma grande homogeneidade na composição química das águas minerais, situadas, em cada uma das massas de água analisadas, respectivamente Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, sendo

de salientar um progressivo aumento da mineralização daquelas águas, da massa de água, Água de Pau para a massa de água Furnas - Povoação e desta para a massa de água Sete Cidades (Figura 6.2).

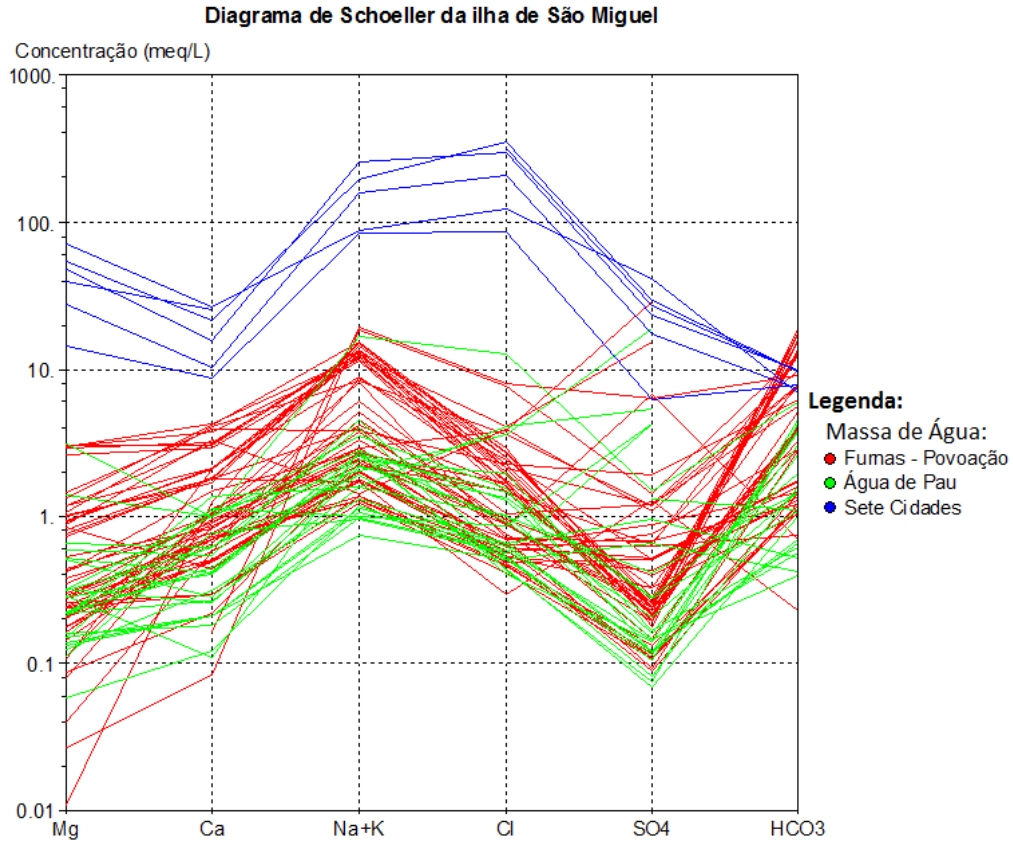


Figura 6.2 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da Ilha de São Miguel.

6.6.1.1 | Massa de Água Furnas - Povoação

As fácies hidrogeoquímicas que prevalecem na massa de água Furnas - Povoação correspondem predominantemente a águas minerais do tipo bicarbonatadas sódicas, embora haja excepções de amostras que apresentam composição intermédia, no que respeita à composição aniónica ou catiónica e que passam a referir-se. Assim, a Água Santa (Ref. 37) é cloretada bicarbonatada sódica, a Água da Nora (Ref. 44) é bicarbonatada cloretada sódica; a Caldeira dos Vimes (Ref. 40), a Tio José de Sousa (Ref. 39) e a Água do Rego (Ref. 6) são do tipo bicarbonatada sulfatada sódica; a Caldeira dos Inhames (Ref. 43) e a Caldeira da Lagoa das Furnas (Ref. 15) são do tipo sulfatada sódica. As emergências Ribeira Quente I (Ref. 47) e

Ribeira Quente II (Ref. 48) são do tipo bicarbonatada calco-sódica, e a Água de Alcântara é bicarbonatada cálcica (Figura 6.3).

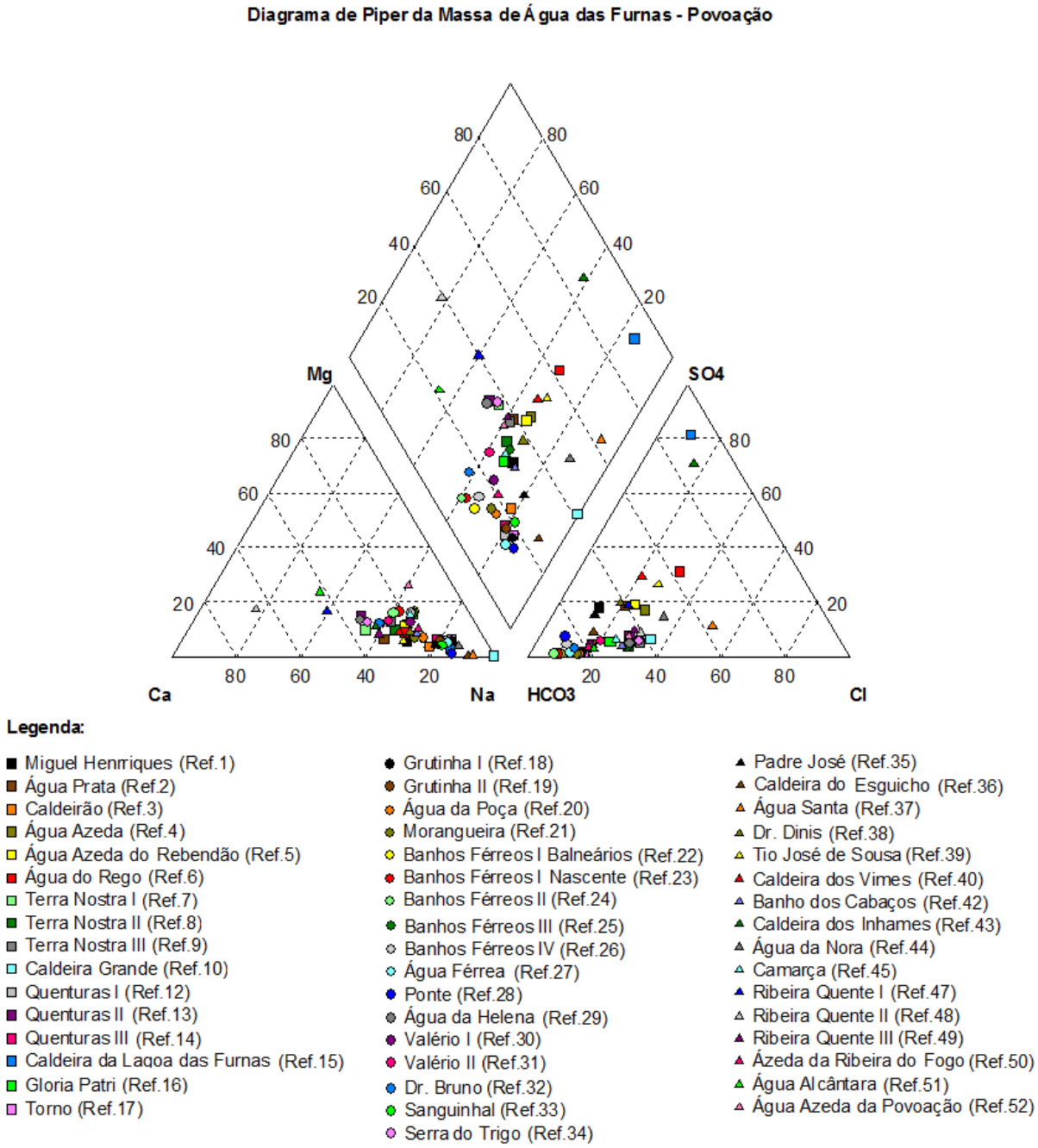


Figura 6.3 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água Furnas – Povoação.

Na massa de água Furnas - Povoação o diagrama de Schoeller mostra uma certa homogeneidade em termos de composição química, predominantemente bicarbonatadas sódicas, com excepção dos seguintes pontos de água mineral (Figura 6.4): Caldeiras Barrentas (Ref. 46), Caldeira dos Inhames (Ref. 43), Caldeira da Lagoa

das Furnas (Ref. 16) e Caldeira Grande (Ref. 10), cujas concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) são muito superiores às do mesmo anião para os restantes pontos de água mineral.

As emergências Água Santa (Ref. 46), Caldeira do Asmodeu (Ref. 11), Caldeira do Esguicho (Ref. 36) e Caldeira Grande (Ref. 10), revelam uma pequena ou mesmo ausência de Mg^{2+} nas suas composições, face às restantes águas minerais projectadas neste diagrama.

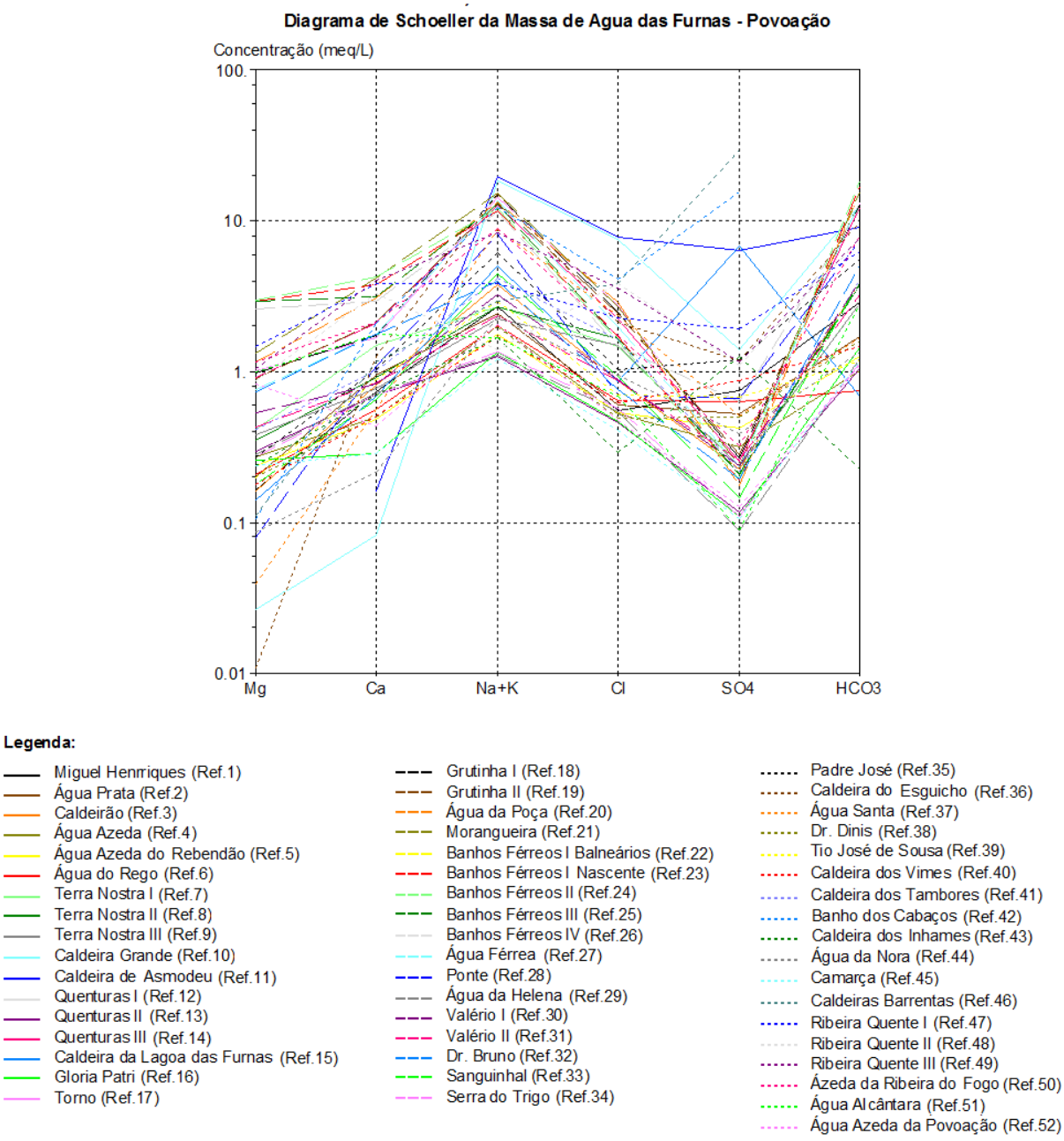


Figura 6.4 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água Furnas - Povoação.

6.6.1.2 | Massa de Água, Água de Pau

As fácies hidrogeoquímicas predominantes na massa de água, Água de Pau são a bicarbonatada sódica, com as excepções seguintes: Pocinha (Ref. 68) e Caldeira Velha Nascente (Ref. 69) são do tipo sulfatada cloretada sódica; Ribeira das Gramas (Ref. 59), FC1_Vieira e Vieira (Ref. 74) e Magarça (Ref. 71) são cloretadas sódicas; Porto Formoso II (Ref. 54), Porto Formoso III (Ref. 55) e Porto Formoso IV (Ref. 56) são bicarbonatadas cloretadas sódicas, enquanto Porto Formoso I (Ref. 53) é cloretada bicarbonatada sódica (Figura 6.5).

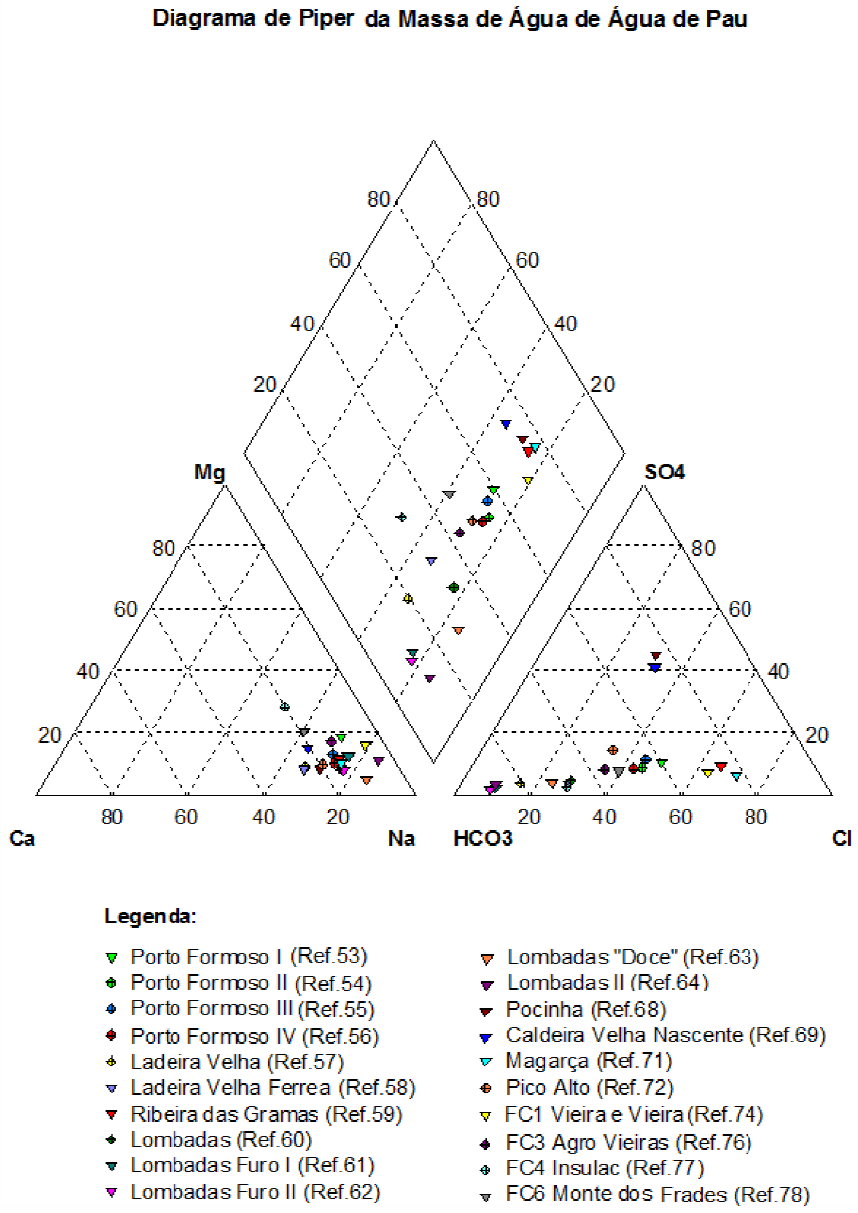


Figura 6.5 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água, Água de Pau.

O diagrama de Schoeller referente à massa de água, Água de Pau (Figura 6.6) mostra uma certa homogeneidade, menos pronunciada que a evendenciada no diagrama similar concernente à massa de água Furnas - Povoação (Figura 6.4), com excepção dos pontos de água mineral, Caldeira Velha Fumarola (Ref. 70), Fumarola da Ribeira Grande (Ref. 65), Caldeira Pequena da Ribeira Grande (Ref. 67) e Caldeira Grande da Ribeira Grande (Ref. 66) que apresentam concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) muito superiores às do mesmo anião para os restantes pontos de água mineral, e FC1_Vieira e Vieira (Ref. 74), que revela uma grande concentração, superior a 10 meq/L, relativamente aos metais alcalinos (Na^+K^+) e ao cloreto (Cl^-).

Diagrama de Schoeller da Massa de Água de Água de Pau

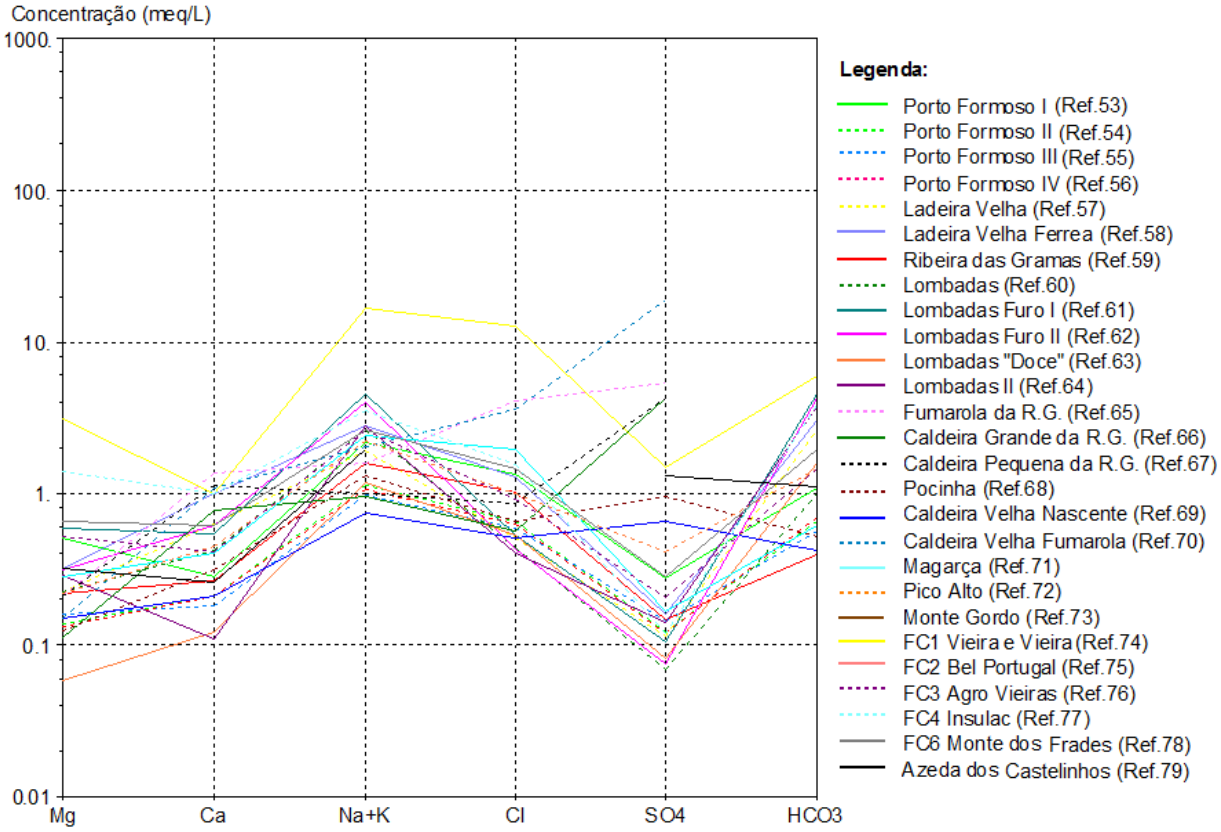


Figura 6.6 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água, Água de Pau.

6.6.1.3 | Massa de Água Sete Cidades

As fácies hidrogeoquímicas que predominam na massa de água Sete Cidades são cloretadas sódicas, o que está de acordo com o facto de se tratar de pontos de água mineral em aquíferos de base, junto ao mar sujeitos à mistura de sais marinhos; exceptua-se a Ferraria II (Ref. 81) que é do tipo cloretada sódica magnesiana (Figura 6.7).

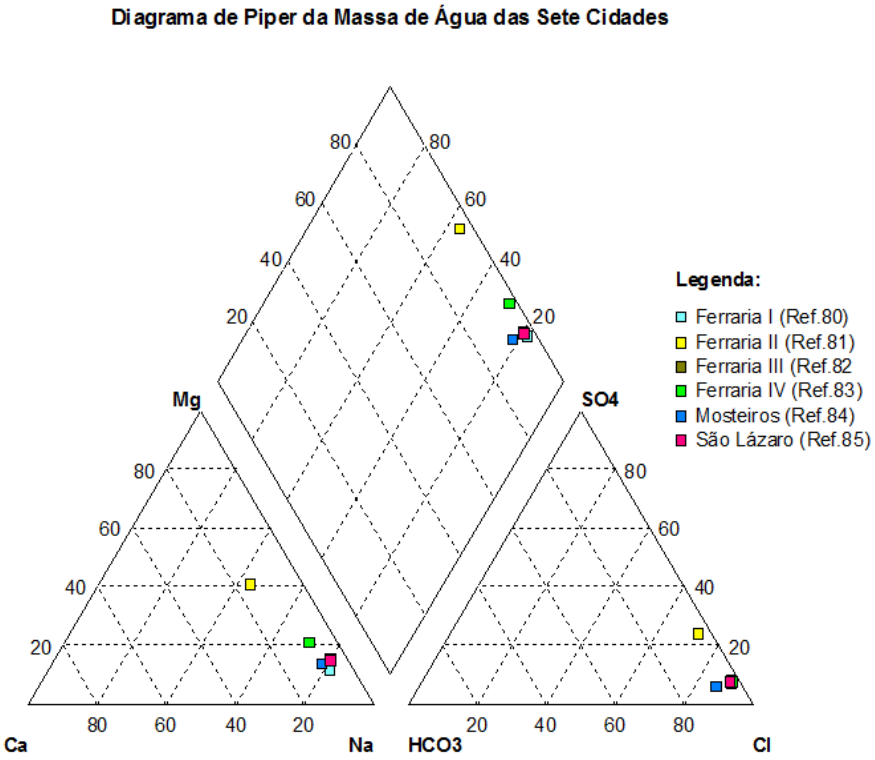


Figura 6.7 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na massa de água das Sete Cidades.

O diagrama de Schoeller evidencia uma grande homogeneidade na composição química e uma mineralização apreciável (Figura 6.8).

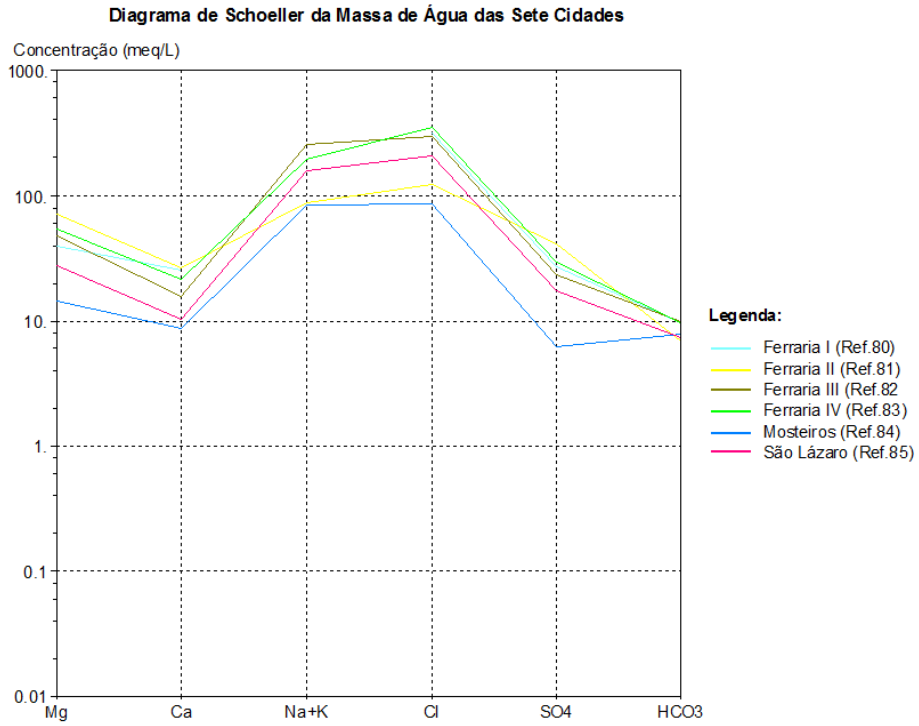


Figura 6.8 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na massa de água Sete Cidades.

6.6.2 | ILHA TERCEIRA

Na Ilha Terceira todas as emergências de água mineral são do tipo cloretada sódica com excepção da Serreta I (Ref. 115) que é bicarbonatada cloretada sódica e da Serreta II (Ref. 108), que corresponde à fácies cloretada magnesiana (Figura 6.9).

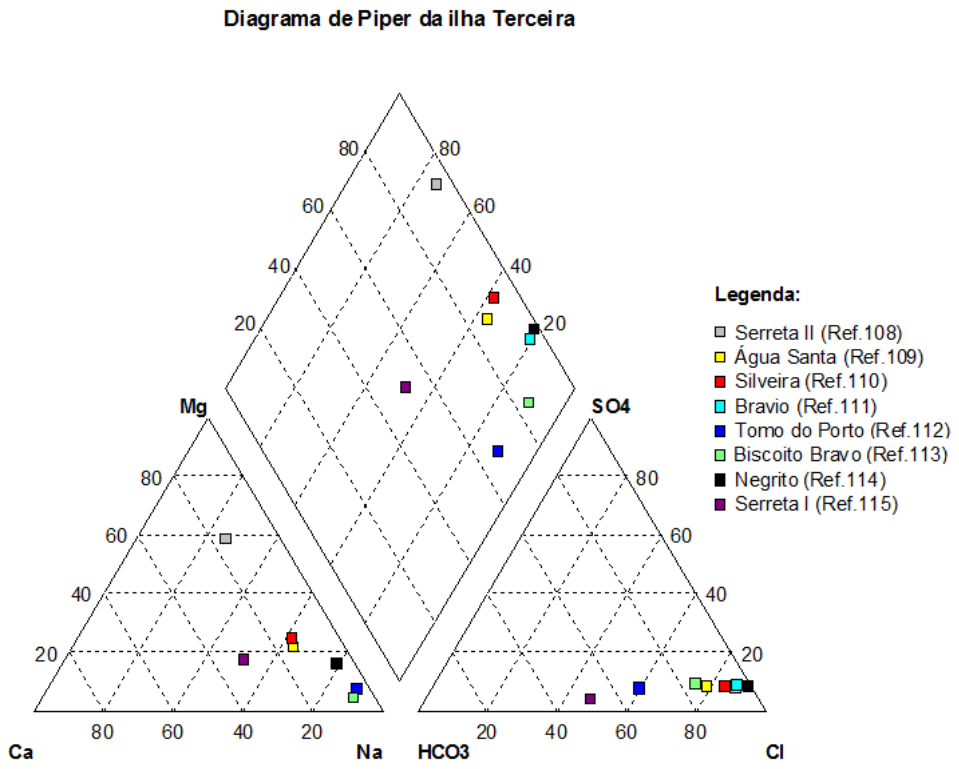


Figura 6.9 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha Terceira.

O diagrama de Schoeller (Figura 6.10) apresenta águas minerais com diferentes magnitudes de mineralização e uma grande homogeneidade na composição química das mesmas.

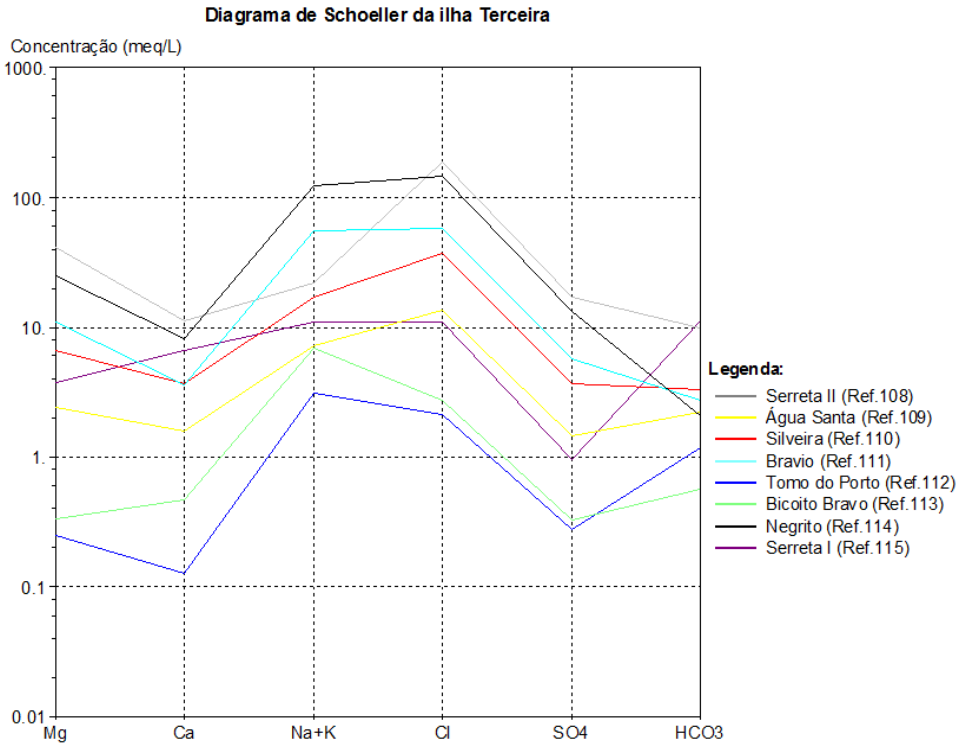


Figura 6.10 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha Terceira.

6.6.3 | ILHA GRACIOSA

Na ilha Graciosa as fácies dos pontos de água mineral são do tipo cloretada sódica (Figura 6.11).

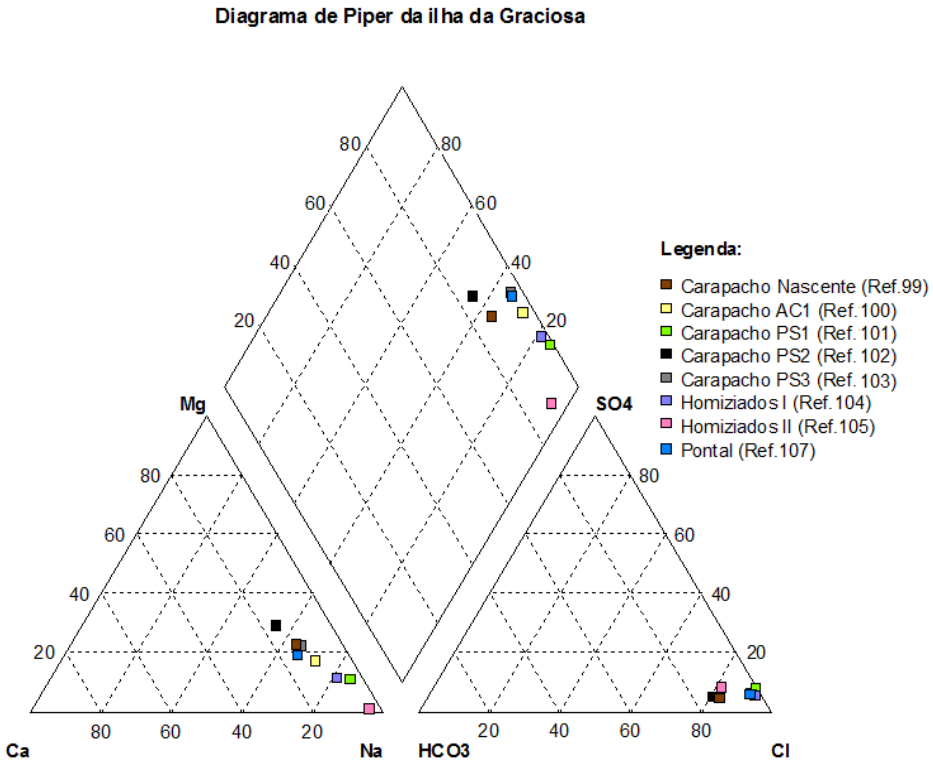


Figura 6.11 |Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha Graciosa.

O diagrama de Schoeller apresenta uma elevada mineralização e uma grande homogeneidade na composição química nas águas minerais referentes à Graciosa (Figura 6.12).

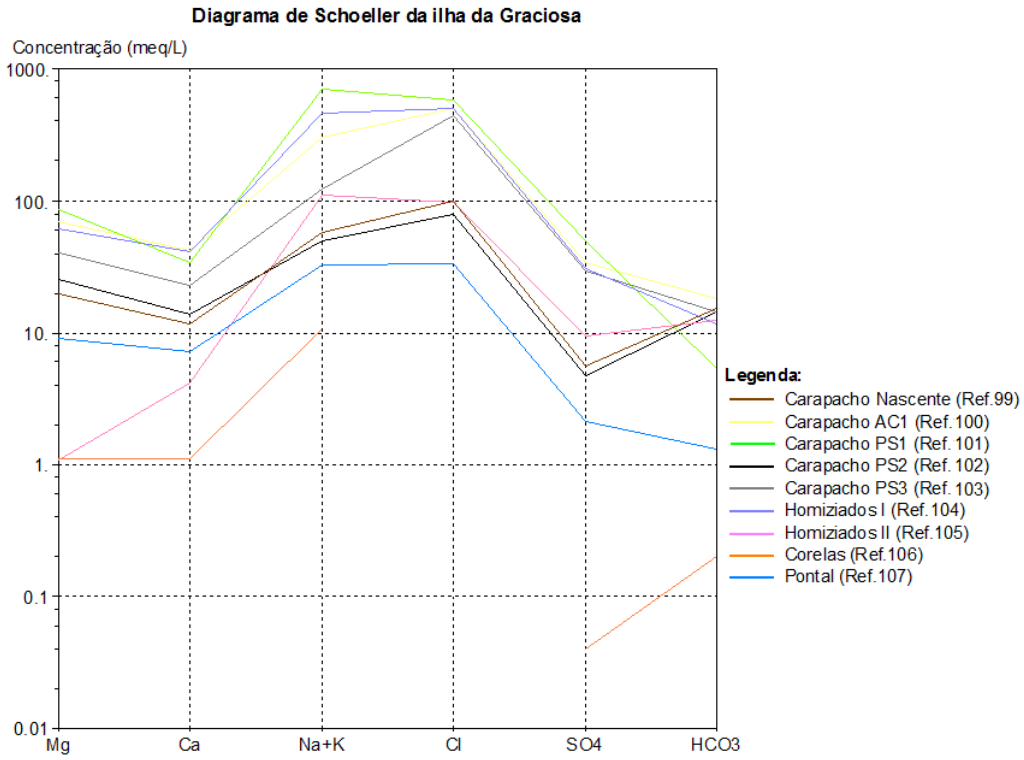


Figura 6.12 |Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha Graciosa.

6.6.4 | ILHA DO FAIAL

Na Ilha do Faial todas as emergências são de água do tipo cloretada sódica (Figura 6.13).

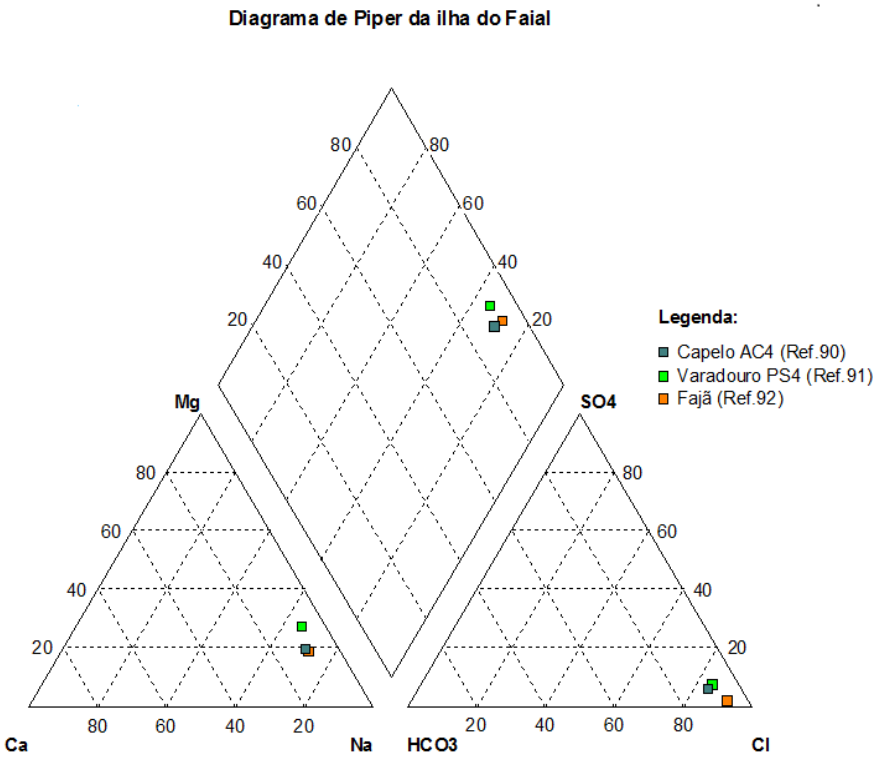


Figura 6.13 |Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha do Faial.

O diagrama de Schoeller evidencia uma grande homogeneidade na composição química e uma mineralização apreciável para as águas minerais desta ilha (Figura 6.14).

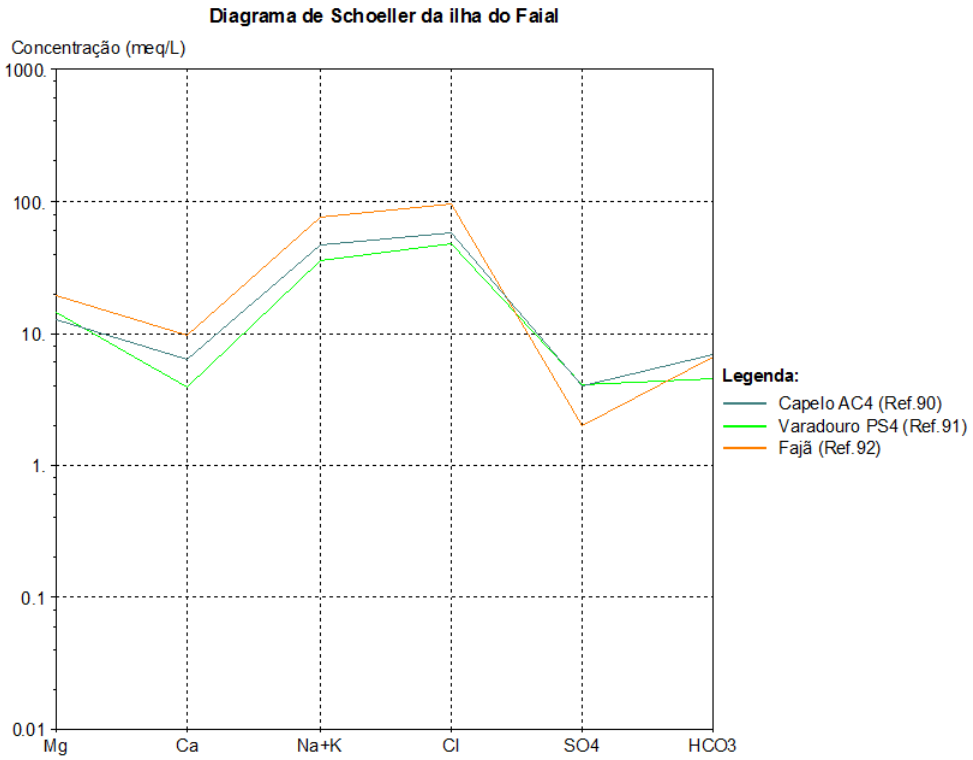


Figura 6.14 |Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha do Faial.

6.6.5 | ILHA DE SÃO JORGE

Na ilha de São Jorge os pontos de água mineral Ponta da Forcada (Ref. 98) e Azeda da Caldeira de Santo Cristo (Ref. 96) são do tipo cloretada sódica; a Fajã dos Vimes I (Ref. 93), a Fajã dos Vimes II (Ref. 94), a Fajã dos Vimes II (Ref. 95) e a Fajã do Nortezinho (Ref. 97) pertencem ao tipo bicarbonatada sódica (Figura 6.15).

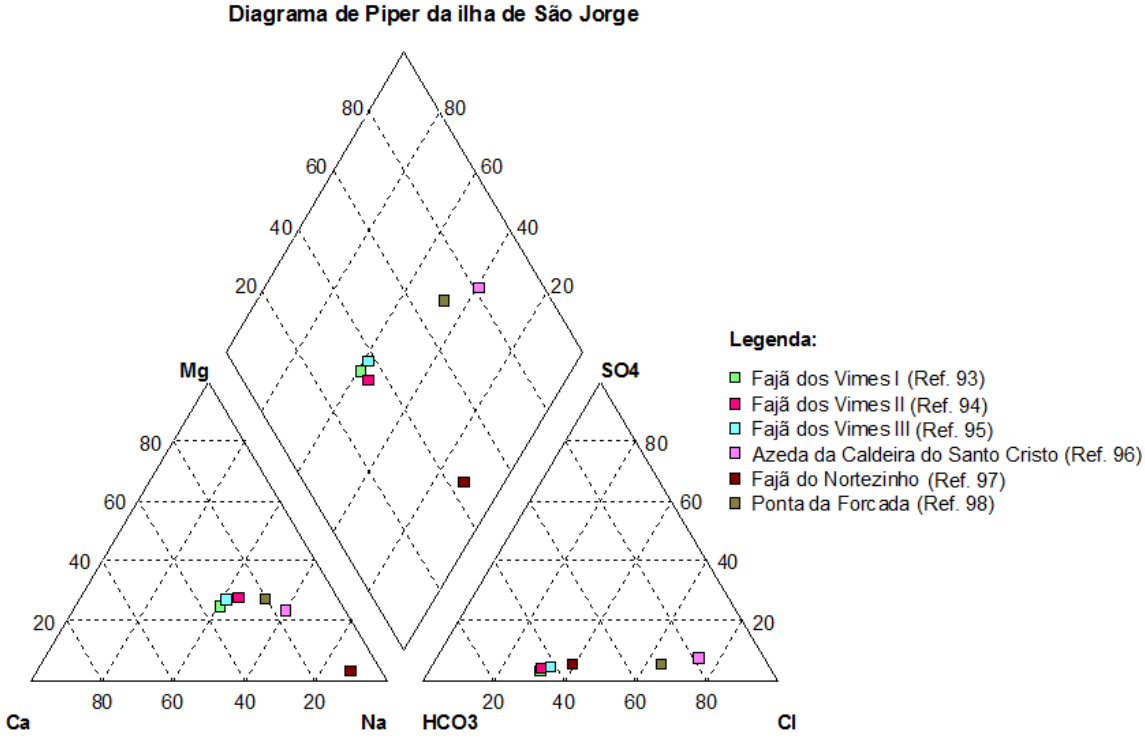


Figura 6.15 |Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha de São Jorge.

O diagrama de Schoeller mostra uma certa homogeneidade quanto à composição química, revelando que as amostras apresentam grande semelhança química (Figura 6.16).

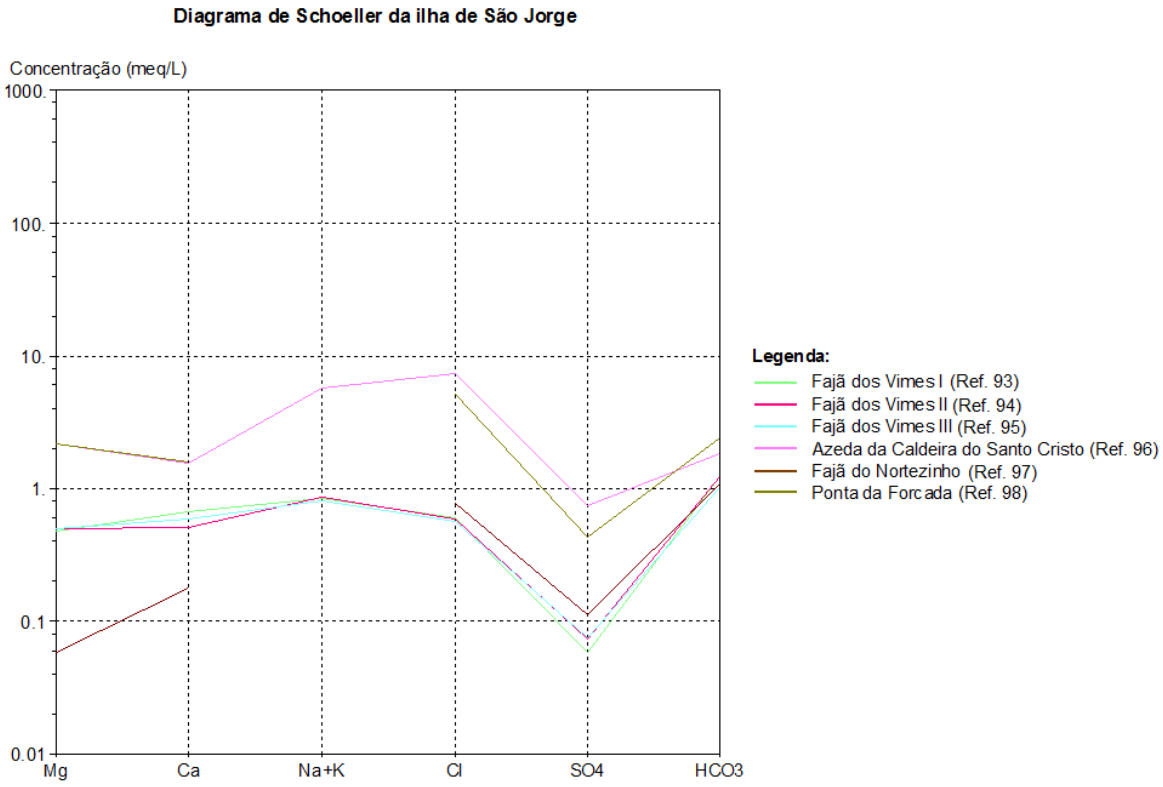


Figura 6.16 | **Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha de São Jorge.**

6.6.6 | ILHA DO PICO

Na Ilha do Pico as emergências analisadas, Silveira (Ref. 88) e Santo Amaro (Ref. 89) correspondem a água de fácies cloretada sódica (Figura 6.17).

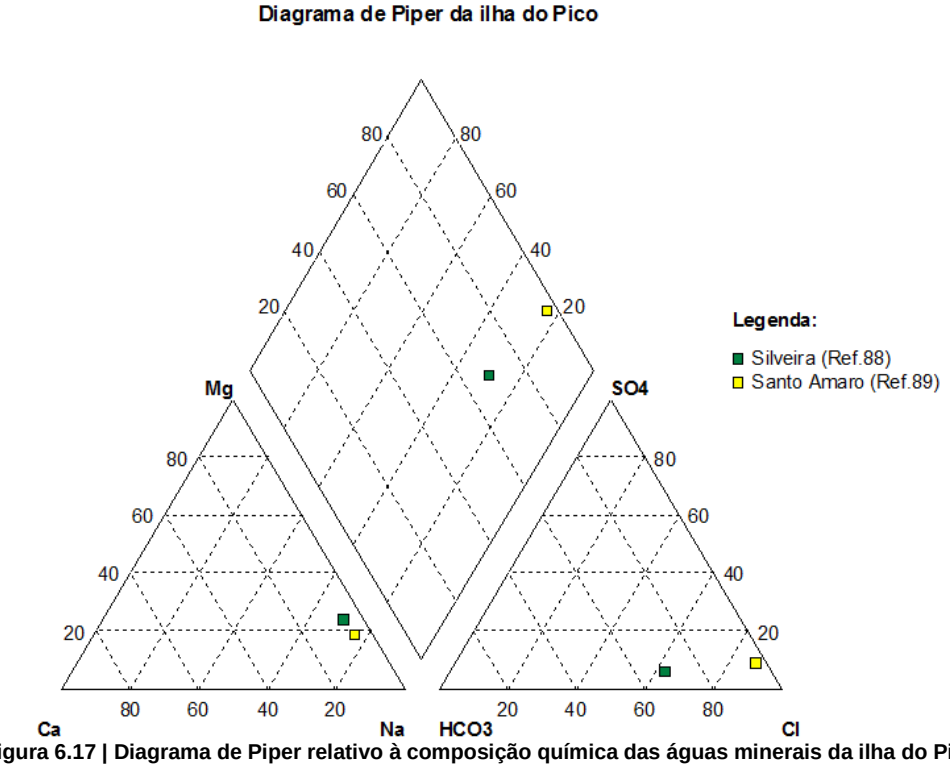


Figura 6.17 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha do Pico.

O diagrama de Schoeller evidencia uma grande homogeneidade na composição química e uma apreciável mineralização em metais alcalinos (Na^+K^+) e em cloretos, superior a 10 meq/L (Figura 6.18).

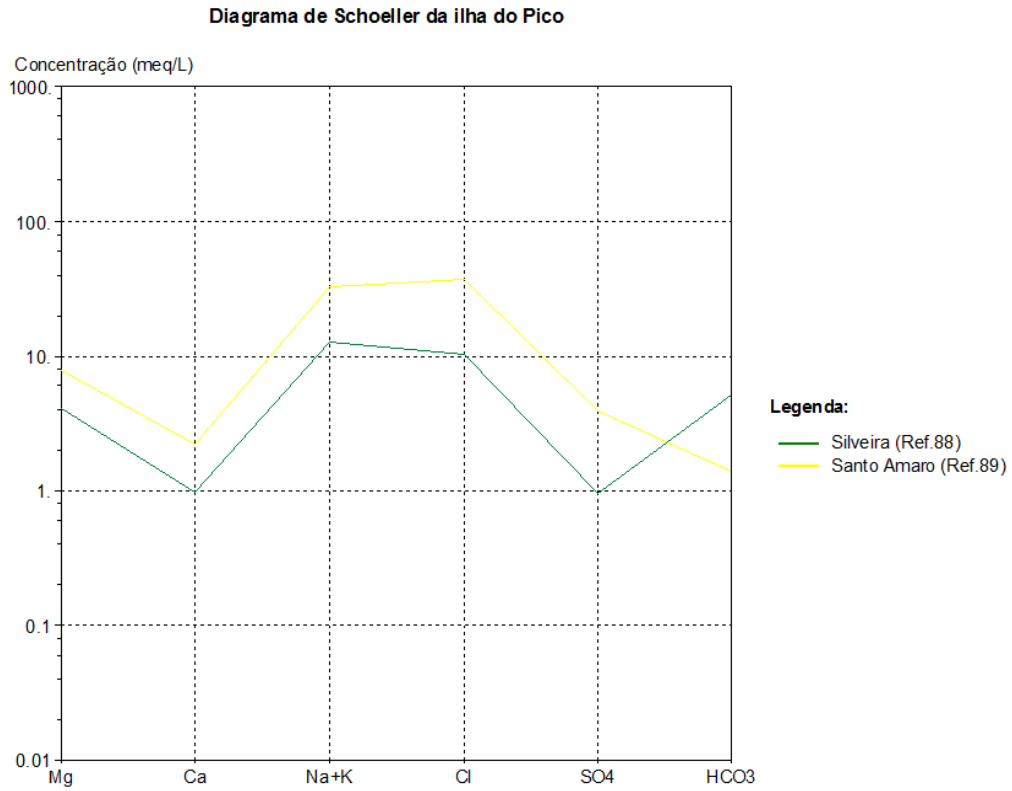


Figura 6.18 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha do Pico.

6.6.7 | ILHA DAS FLORES

Na Ilha das Flores o ponto de água mineral Poio Moreno (Ref. 86) é do tipo bicarbonatada sódica magnesiana e o ponto de água mineral Lagedo (Ref. 87) corresponde ao tipo bicarbonatada sódica (Figura 6.19).

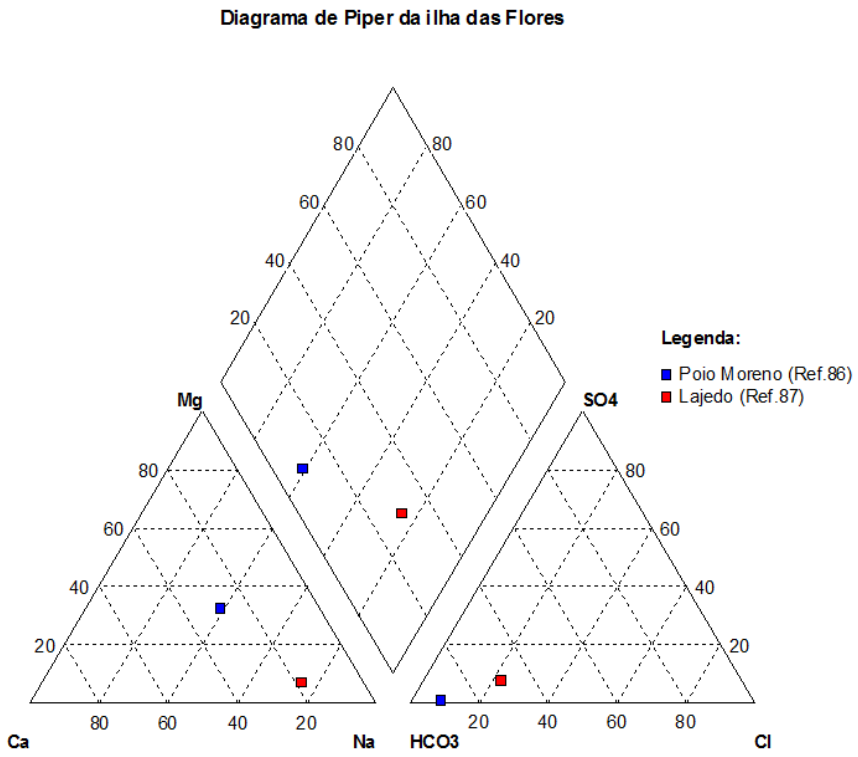


Figura 6.19 | **Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais da ilha das Flores.**

O diagrama de Schoeller mostra uma certa homogeneidade na composição química das águas minerais evidenciando a particularidade do teor (meq/L) do ião sulfato (SO_4^{2-}) no Lagedo (Ref. 87) ser cerca de dez vezes superior à do Poio Moreno (Ref. 86) (Figura 6.20).

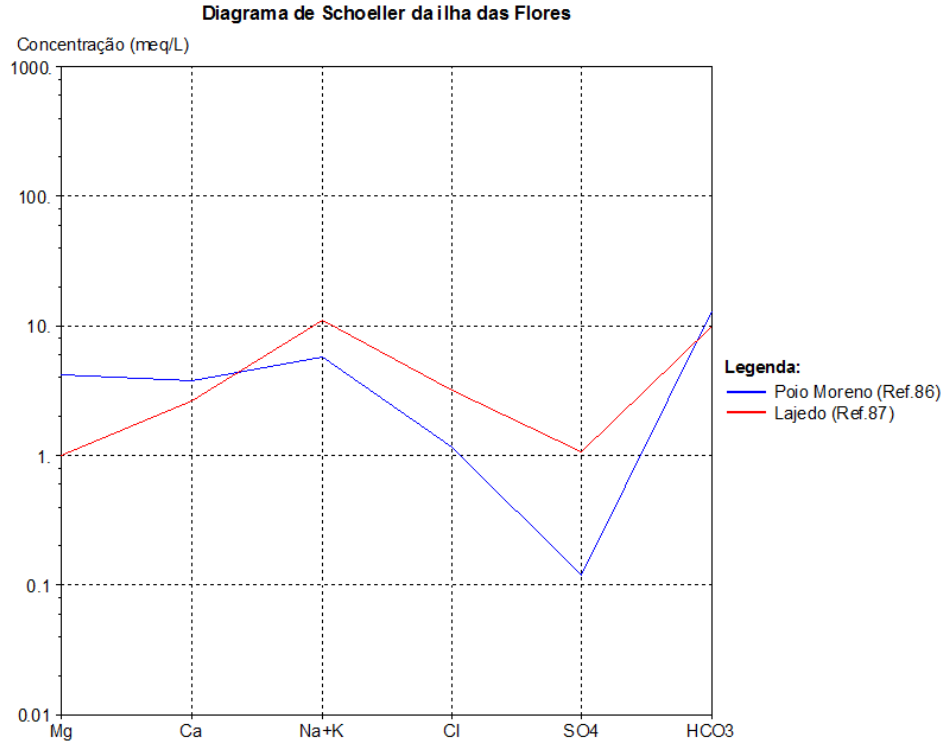


Figura 6.20 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais da ilha das Flores.

6.7 | ÍNDICES DE SATURAÇÃO

A determinação do estado de equilíbrio da água relativamente a um dado contexto mineralógico é essencial e, para tal, é necessário recorrer a medidas de desequilíbrio nomeadamente aos índices de saturação (IS) relativos às diferentes fases sólidas.

O índice de saturação de qualquer espécie mineral é definido pela relação entre o quociente de reacção (Q) e a sua respectiva constante de equilíbrio (Ks) (Appelo & Postman, 1993; Drever, 1997; Kehew, 2001; Langmuir, 1997). Para efeitos de comodidade de cálculo, e porque alguns minerais possuem constantes de equilíbrio da ordem dos 10^{-40}, o que torna difícil o cálculo dos seus índices de saturação recorrendo ao programa Phreeqc Interactive (Parkhurst & Appelo, 1999) calcula os índices de saturação em função dos logaritmos das actividades. Assim se o logaritmo do IS é positivo, considera-se que uma água está sobressaturada relativamente ao mineral, e a tendência é para a precipitação deste. Se o logaritmo do índice de saturação é negativo, a água encontra-se subsaturada e portanto o mineral tende a dissolver-se. A água está em equilíbrio se o logaritmo do índice de saturação estiver próximo de zero.

Neste estudo caracterizam-se, sempre que possível, os estados de equilíbrio das águas minerais do arquipélago dos Açores relativamente aos minerais de sílica (quartzo, calcedónia e sílica amorfa), aos principais minerais carbonatados (calcite e dolomite), a alguns silicatos (anortite, alblte, mica potássica, feldspato potássico, caulinite, montmorilomite cálcica e ilite), ao gesso e à fluorite. Os resultados foram obtidos através do programa Phreeqc (Parkhurst & Appelo, 1999), tendo sido calculado o Log IS para as 14 espécies minerais referidas anteriormente (Anexo A - VI).

No que diz respeito aos minerais de sílica verifica-se que as águas minerais do arquipélago dos Açores estão: a) todas sobressaturadas em quartzo (Figura 6.21); b) maioritaramente sobressaturadas em calcedónia com as excepções da Caldeira dos Vimes (Ref 40), Caldeira dos Inhames (Ref 43.) e Pontal (Ref. 107) (Figura 6.22); c) subsaturadas em sílica amorfa salvo a água mineral do Porto Formoso I (Ref. 53) que se encontra sobressaturada naquele mineral (Figura 6.23).

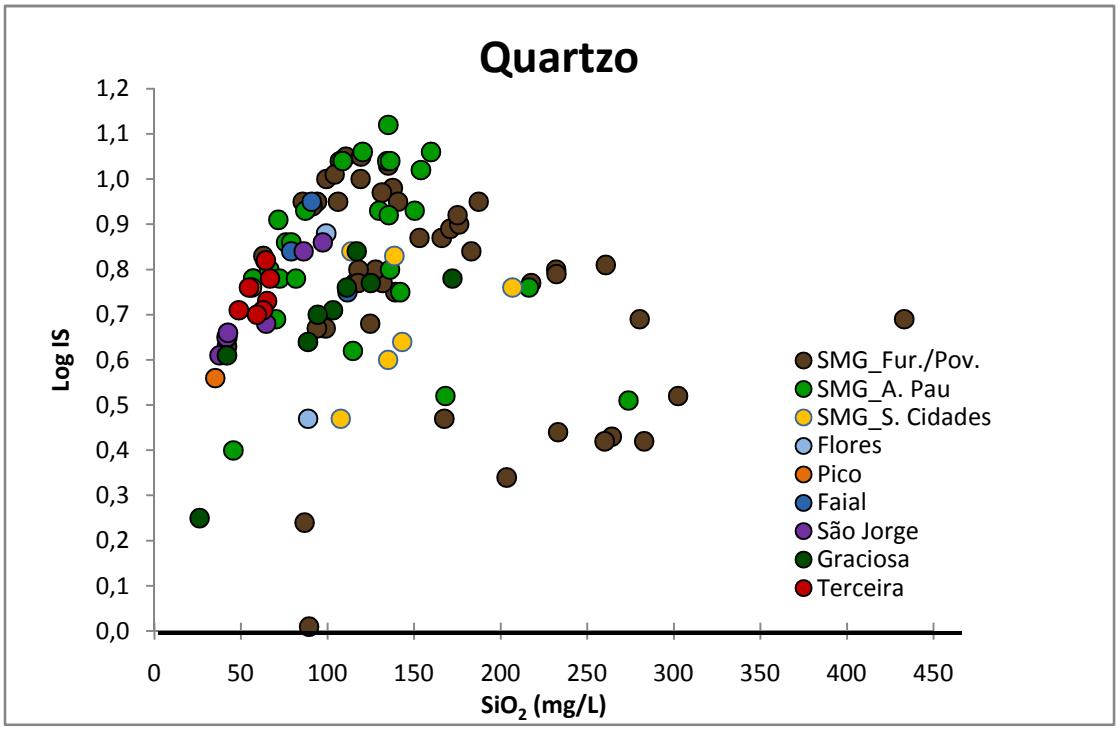


Figura 6.21 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao quartzo em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

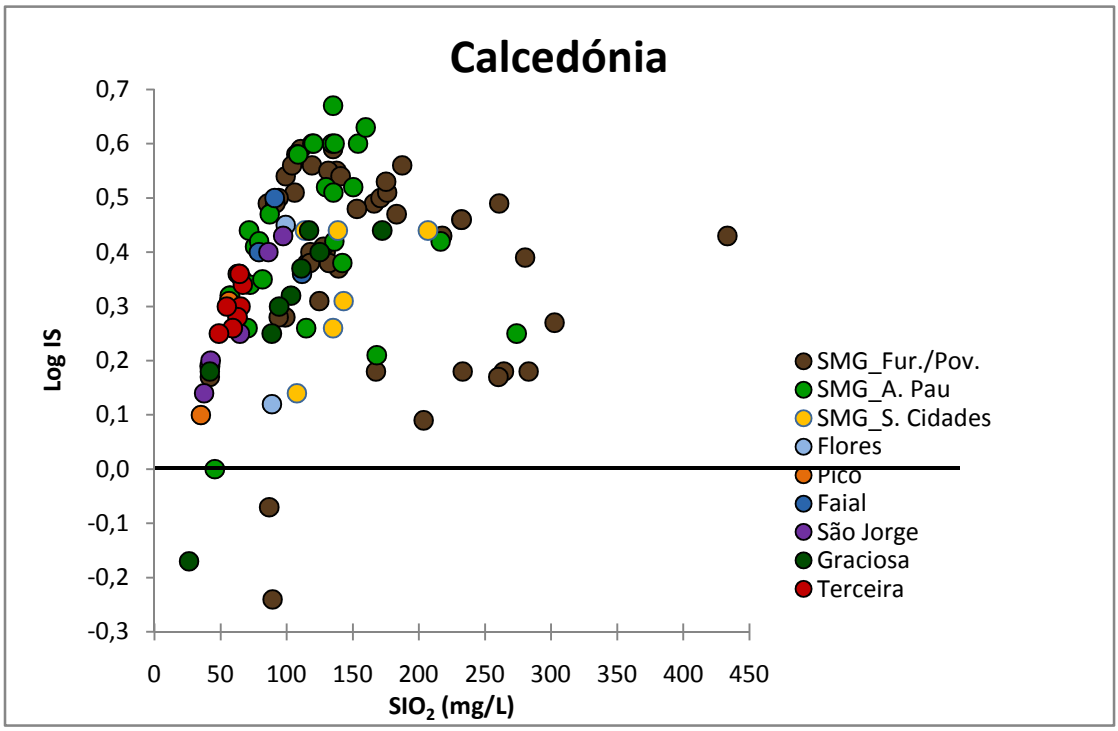


Figura 6.22 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à calcedónia em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

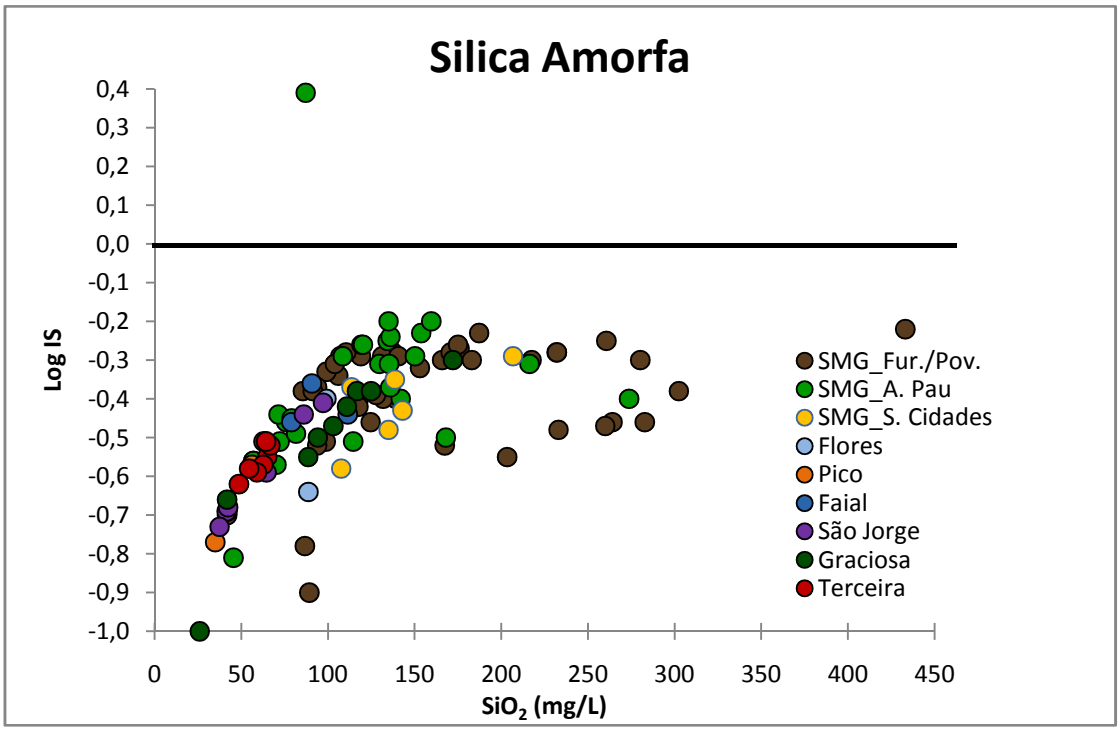


Figura 6.23 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à silica amorfa em função da concentração de silica existente nas águas minerais dos Açores.

Relativamente aos principais minerais carbonatados, calcite e dolomite, observa-se, no geral, que as águas minerais dos Açores são subsaturadas nestas espécies de minerais. No entanto existem algumas águas minerais sobressaturadas em calcite cuja designação e referência é a seguinte (Figura 6.24): Caldeira Grande (Ref. 10), Banhos Férreos II (Ref. 24), Ponte (Ref. 28), Caldeira do Esguicho (Ref. 36), Ribeira Quente II (Ref. 48), Ribeira Quente III (Ref. 49), Ferraria I (Ref. 80), Ferraria II (Ref. 81), Poio Moreno (Ref. 86), Lajedo (Ref. 87), Carapacho nascente (Ref. 99), Carapacho AC1 (Ref. 100), Carapacho PS1 (Ref. 101), Carapacho PS2 (Ref. 102) e Homiziados I (Ref. 104). Relativamente à dolomite existem dezassete águas minerais também sobressaturadas, com as seguintes designações e referências (Figura 6.25): Banhos Férreos II (Ref. 24), Ponte (Ref. 28), Caldeira do Esguicho (Ref. 36), Ribeira Quente II (Ref. 48), Ribeira Quente III (Ref. 49), Ferraria I (Ref. 80), Ferraria II (Ref. 81), Ferraria III (Ref. 82), Ferraria IV (Ref. 83), Mosteiros (Ref. 84), Poio Moreno (Ref. 86), Lajedo (Ref. 87), Carapacho nascente (Ref. 99), Carapacho AC1 (Ref. 100), Carapacho PS1 (Ref. 101), Carapacho PS2 (Ref. 102) e Homiziados I (Ref. 104).

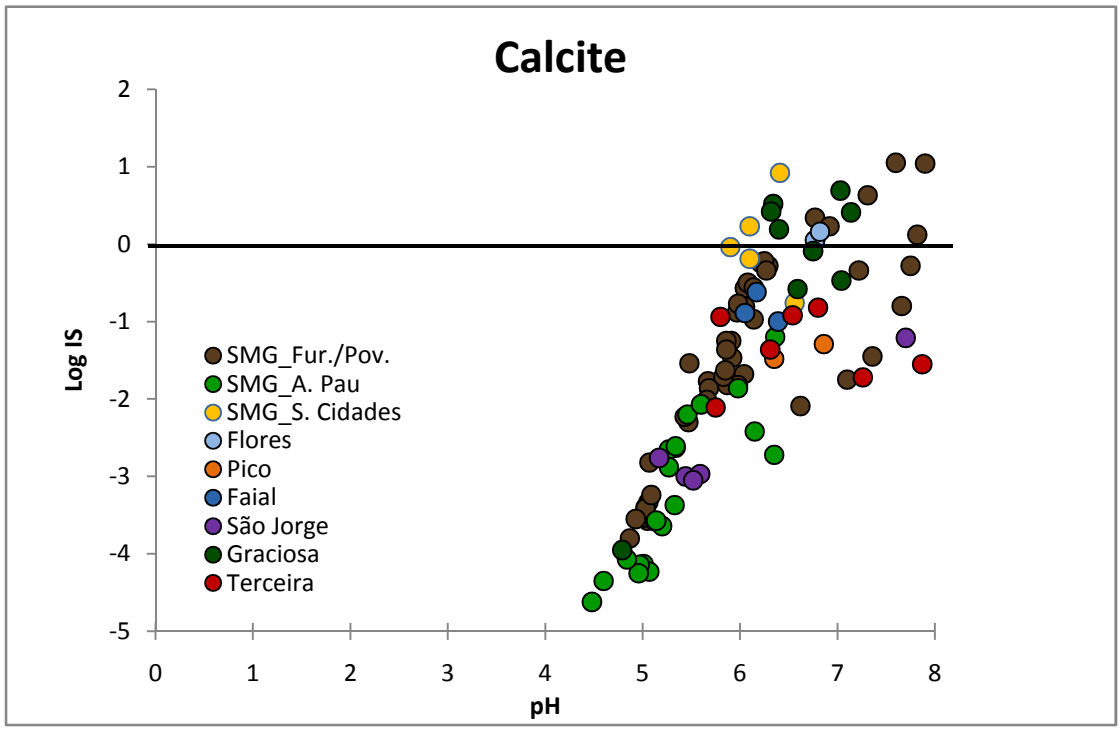


Figura 6.24 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à calcite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

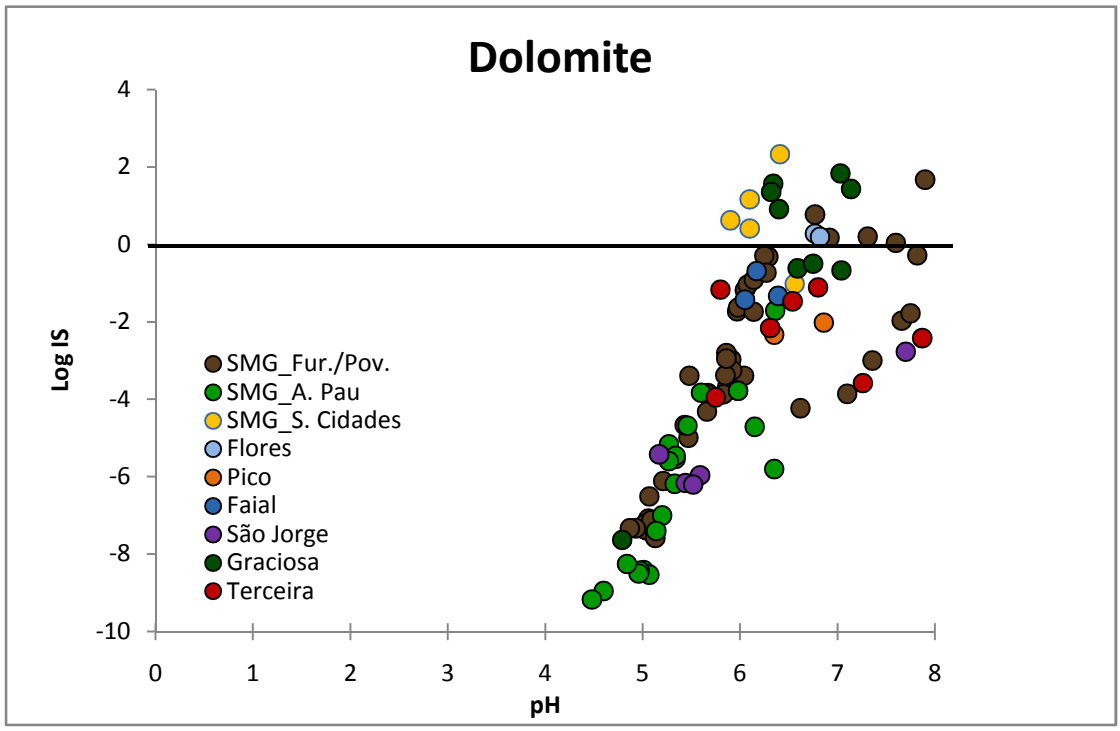


Figura 6.25 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à dolomite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

No que concerne aos silicatos estudou-se o índice de saturação das águas minerais da região autónoma dos Açores em relação a: duas plagioclases, anortite e albite; dois feldspatos, mica potássica e feldspato potássico; Três minerais de argila, montmorilonite cálcica, caulinite e ilite.

A projecção do logaritmo dos índices de saturação das plagioclases versus o pH revela que o comportamento geral da anortite e albite é semelhante, pois as águas minerais dos Açores, na generalidade, estão subsaturadas em plagioclase cálcica e em plagioclase sódica. No entanto há excepções: as amostras Ribeira Quente III (Ref. 49) e Carapacho AC1 (Ref. 100) encontram-se sobressaturadas em anortite (Figura 6.26) e as amostras Caldeira do Asmodeu (Ref. 11), Água Férrea (Ref. 27), Água da Nora (Ref. 44), Ribeira Quente II (Ref. 48), FC1_Vieira e Vieira (Ref. 74), FC3_Agrovieiras (Ref. 76), Ferraria II (Ref. 81), Ferraria III (Ref. 82), Ferraria IV (Ref. 83), Mosteiros (Ref. 84), São Lázaro (Ref. 85), Poio Moreno (Ref. 86), Silveira (Ref. 88), Capelo AC4 (Ref. 90), Varadouro (Ref. 91), Azeda da Caldeira do Santo Cristo (Ref. 96), Carapacho nascente (Ref. 99), Carapacho AC1 (Ref. 100), Carapacho PS2 (Ref. 102), Serreta II (Ref. 108) e Bravio (Ref. 111) manifestam-se também sobressaturadas em albite (Figura 6.27).

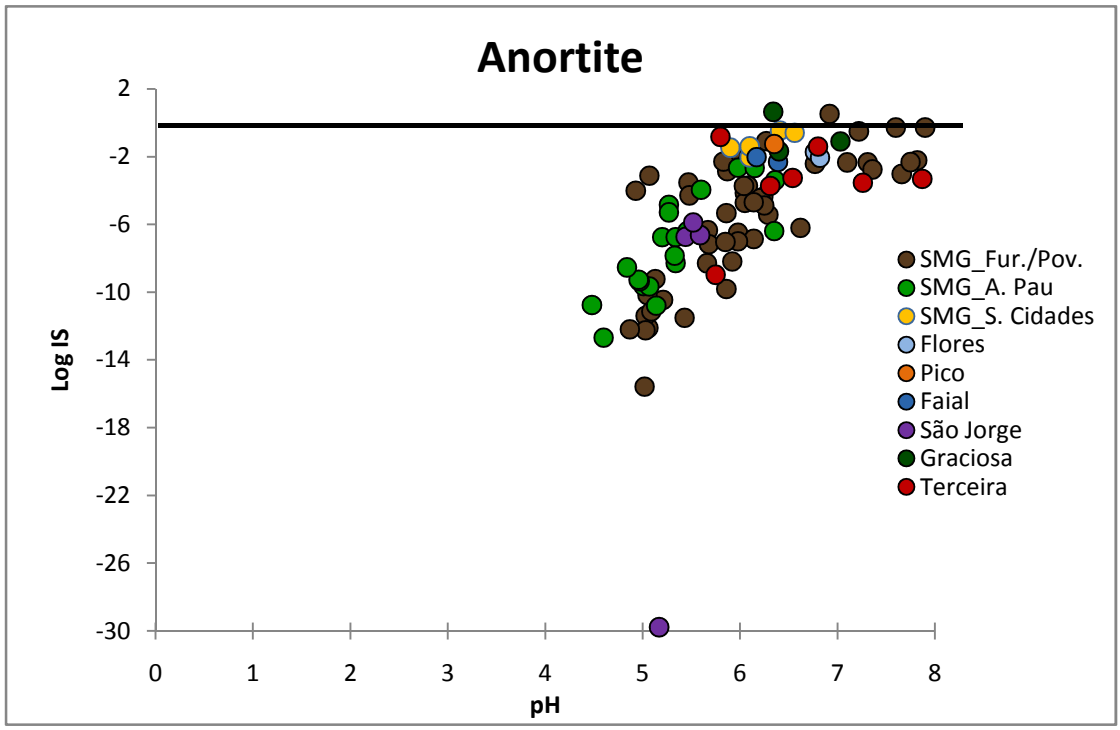


Figura 6.26 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à anortite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

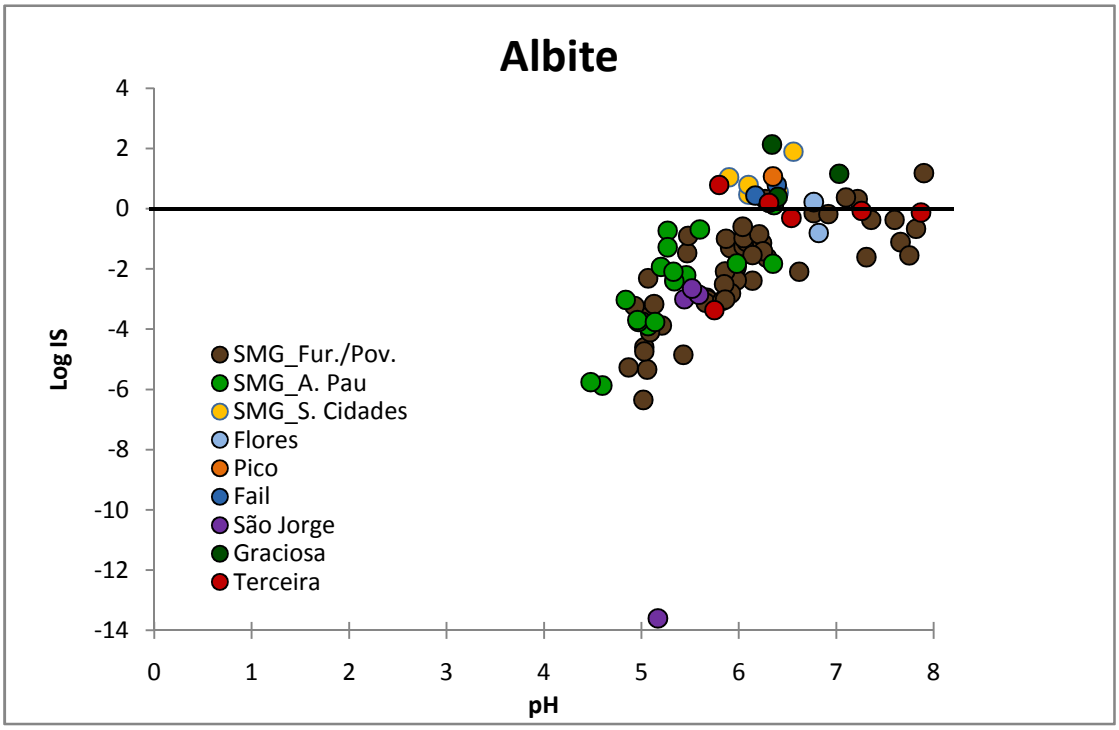


Figura 6.27 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à albite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Relativamente aos feldspatos, os pontos de água mineral estão, maioritariamente sobresaturados em mica potássica (Figura 6.28) com excepção da Água Azeda do Rebentão (Ref. 5), Água de Alcântara (Ref. 51), Pocinha (Ref. 68) e Azeda da Caldeira do Santo Cristo (Ref. 96), e dois terços das amostras estão subssaturadas em feldspato potássico. As emergências de água mineral em que se constata a sobressaturação em feldspato potássico têm a seguinte denominação e referência: Água de Prata (Ref. 2), Terra Nostra III (Ref. 9), Caldeira do Asmodeu (Ref.11), Quenturas I (Ref.12), Quenturas II (Ref.13), Quenturas III (Ref.14), Torno (Ref.17), Água da Poça (Ref 20)., Morangueira (Ref. 21), Banhos Férreos II (Ref. 24), Água Férrea (Ref. 27), Valério I (Ref. 30), Caldeira do Esguicho (Ref. 36), Água da Nora (Ref. 44), Camarça (Ref. 45), Ribeira Quente I (Ref. 47), Ribeira Quente II (Ref. 48), Ribeira Quente III (Ref. 49), Lombadas Furo I (Ref. 61), Lombadas “doce” (Ref. 63), FC1_Vieira e Vieira (Ref. 74), FC3_Agrovieiras (Ref. 76), FC4_Insulac (Ref. 77), FC6_Monte dos Frades (Ref. 78), Ferraria II (Ref. 81), Ferraria III (Ref. 82), Ferraria IV (Ref.84), Mosteiros (Ref. 84), São Lázaro (Ref.85), Poio Moreno (Ref. 86), Silveira (Ref. 88), Capelo AC4 (Ref. 90), Varadouro PS4 (Ref. 91), Carapacho nascente (Ref. 99), Carapacho AC1 (Ref. 100), Carapacho PS2 (Ref. 101), Serreta II (Ref. 108), Silveira (Ref. 110), Bravio (Ref. 111), Tomo do Porto (Ref.112), Biscoito Bravo (Ref. 113) (Fig.6.29).

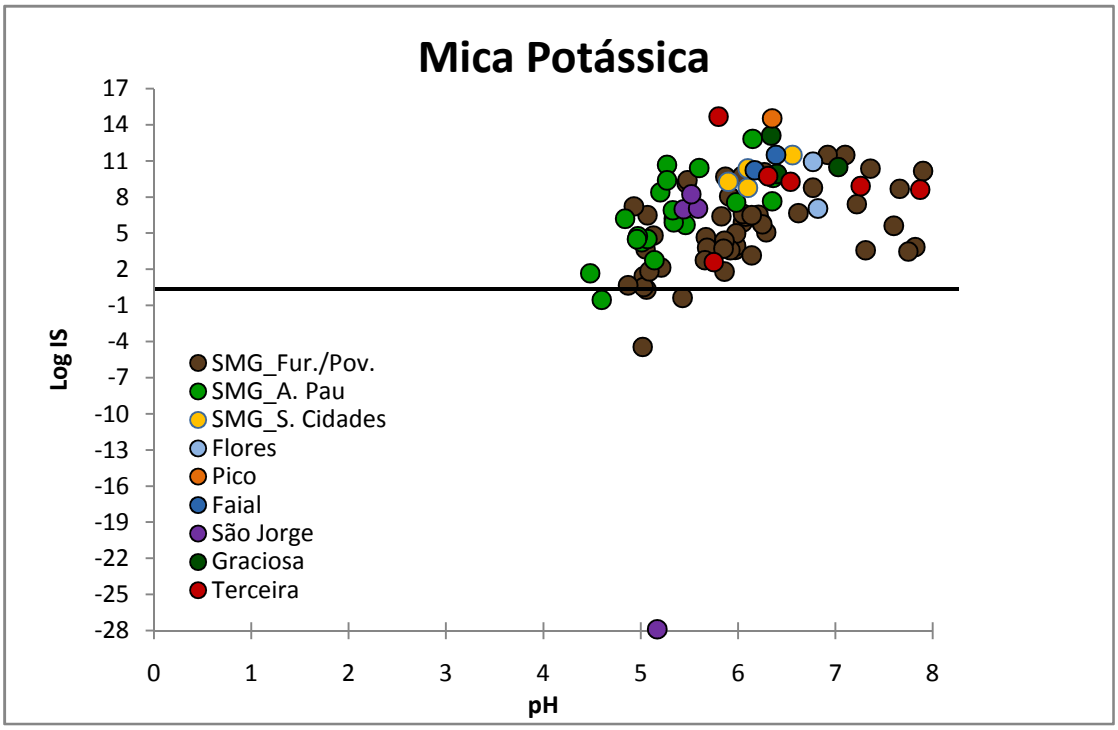


Figura 6.28 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à mica potássica em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

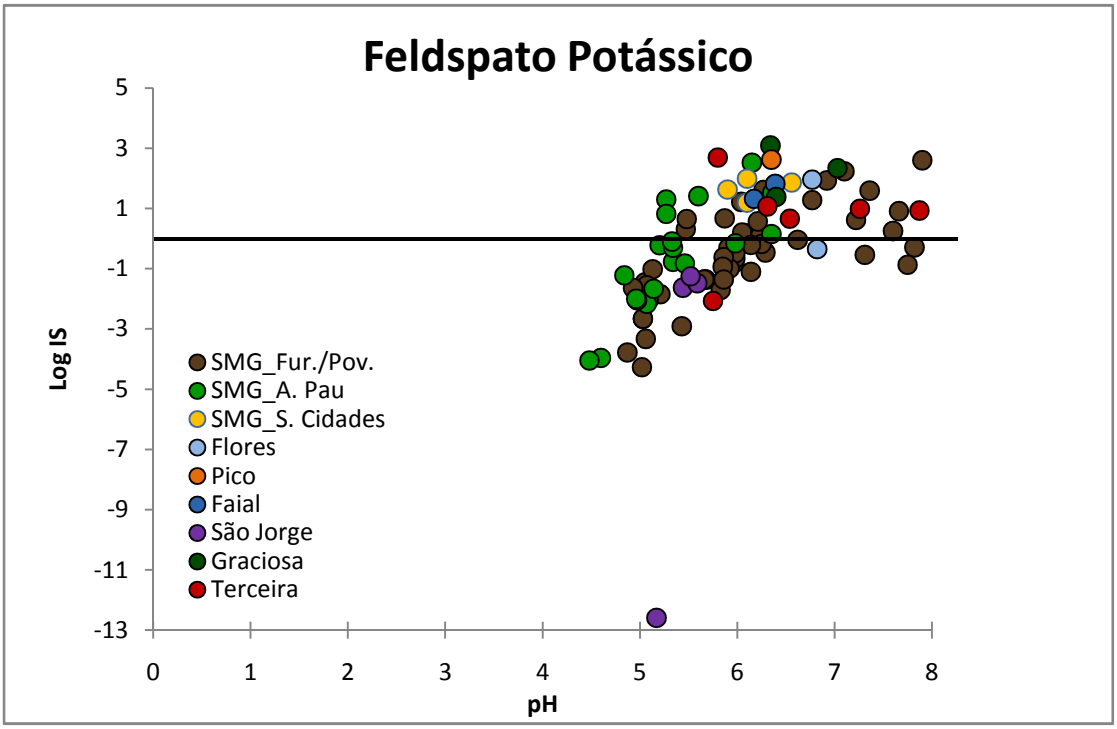


Figura 6.29 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao feldspato potássico em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

No que diz respeito aos minerais de argila, caulinite, montmorilonite cálcica e ilite constata-se que as águas minerais do arquipélago dos Açores estão

maioritariamente sobressaturadas. A Água Azeda do Rebentão (Ref. 5), a Caldeira Grande (Ref.10), a Água de Alcântara (Ref. 51) e a Azeda da Caldeira de Santo Cristo (Ref. 96) são as únicas águas minerais que se encontram simultaneamente subsaturadas nos três minerais mencionados anteriormente e ao mesmo tempo representam a totalidade de pontos de água mineral existentes nos Açores subsaturados em caulinite (Figura 6.30). As águas minerais subsaturados só em montmorilonite cálcica (Figura 6.31) têm as seguintes nomeações e registos: Miguel Henriques (Ref. 1), Banhos Férreos I (Ref. 24), Ponte (Ref. 28), Água da Helena (Ref. 29), Sanguinhal (Ref. 33), Serra do Trigo (Ref. 34), Água Santa (Ref.37), Dr. Diniz (Ref. 38), Tio José de Sousa (Ref. 39), Azeda da Ribeira Fogo (Ref. 50), Água de Alcântara Ref. 51), Água Azeda da Povoação (Ref. 52), Lombadas (Ref. 60), Pocinha (Ref. 68), Caldeira Velha Nascente (Ref. 69), Azeda da Caldeira de Santo Cristo (Ref. 96) e Água Santa [Terceira (Ref.109)]. Por fim as emergências de água mineral subsaturadas em ilite têm a seguinte denominação e referência: Miguel Henriques (Ref. 1), Água Azeda (Ref. 4), Água Azeda do Rebentão (Ref. 5), Água do Rego (Ref. 6), Terra Nostra I (Ref. 7), Terra Nostra II (Ref. 8), Caldeira Grande (Ref.10), Caldeira da Lagoa das Furnas (Ref.15), Grutinha I (Ref. 18), Grutinha II (Ref. 19), Banhos Férreos I - balneário (Ref. 22), Banhos Férreos III (Ref. 25), Água Férrea (Ref. 27), Ponte (Ref. 28), Água da Helena (Ref. 29), Valério II (Ref. 31), Dr. Bruno (Ref. 32), Sanguinhal (Ref. 33), Serra do Trigo (Ref. 34), Padre José (Ref. 35), Caldeira do Esguicho (Ref. 36), Água Santa (Ref. 37), Dr. Diniz (Ref. 38), Tio José de Sousa (Ref. 39), Caldeira dos Vimes (Ref. 40), Banhos dos Cabaços (Ref. 42), Azeda da Ribeira Fogo (Ref. 50), Água de Alcântara Ref. 51), Porto Formoso II (Ref. 54), Porto Formoso III (Ref. 55), Porto Formoso IV (Ref. 56), Ribeira das Gramas (Ref. 59) Lombadas (Ref. 60), Pocinha (Ref. 68), Caldeira Velha Nascente (Ref. 69), Azeda da Caldeira de Santo Cristo (Ref. 96) e Água Santa [Terceira (Ref.109)] (Figura 6.32).

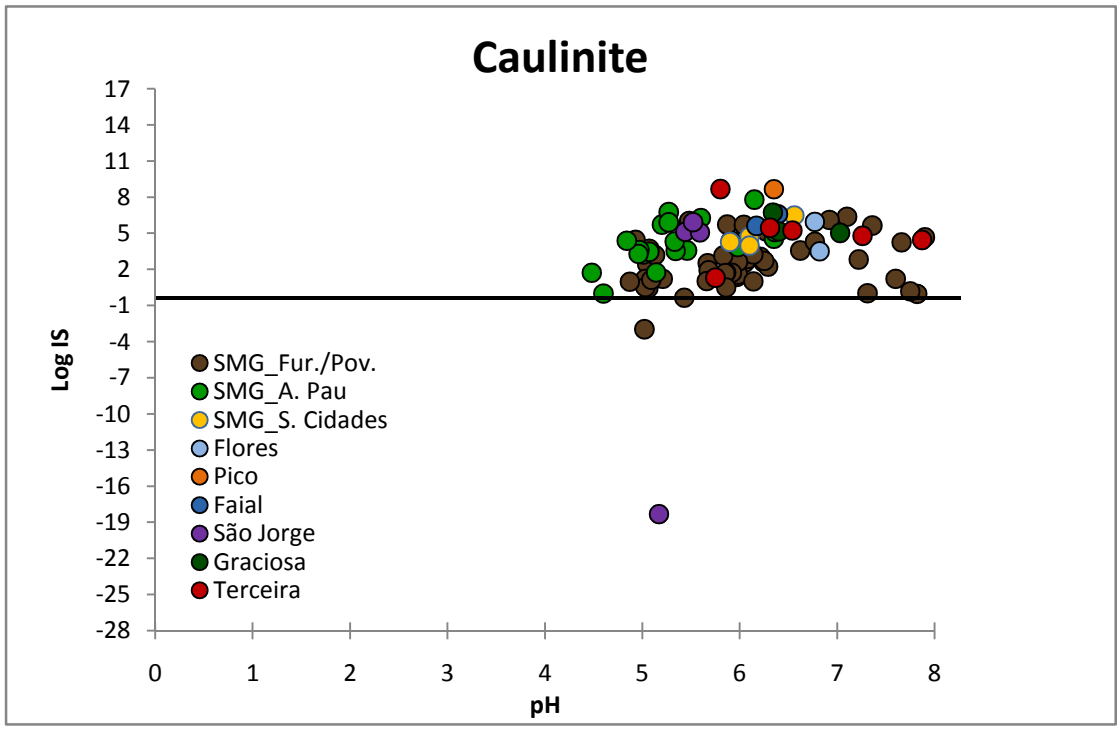


Figura 6.30 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à caulinite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

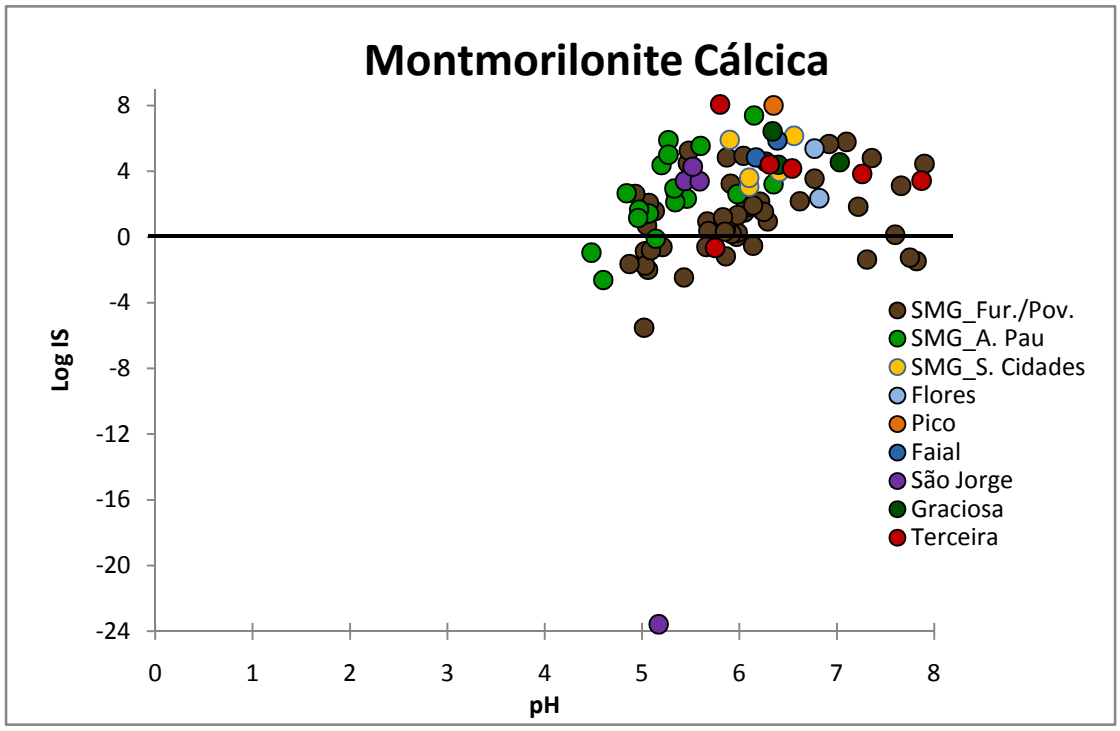


Figura 6.31 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à montemorilonite cálcica em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

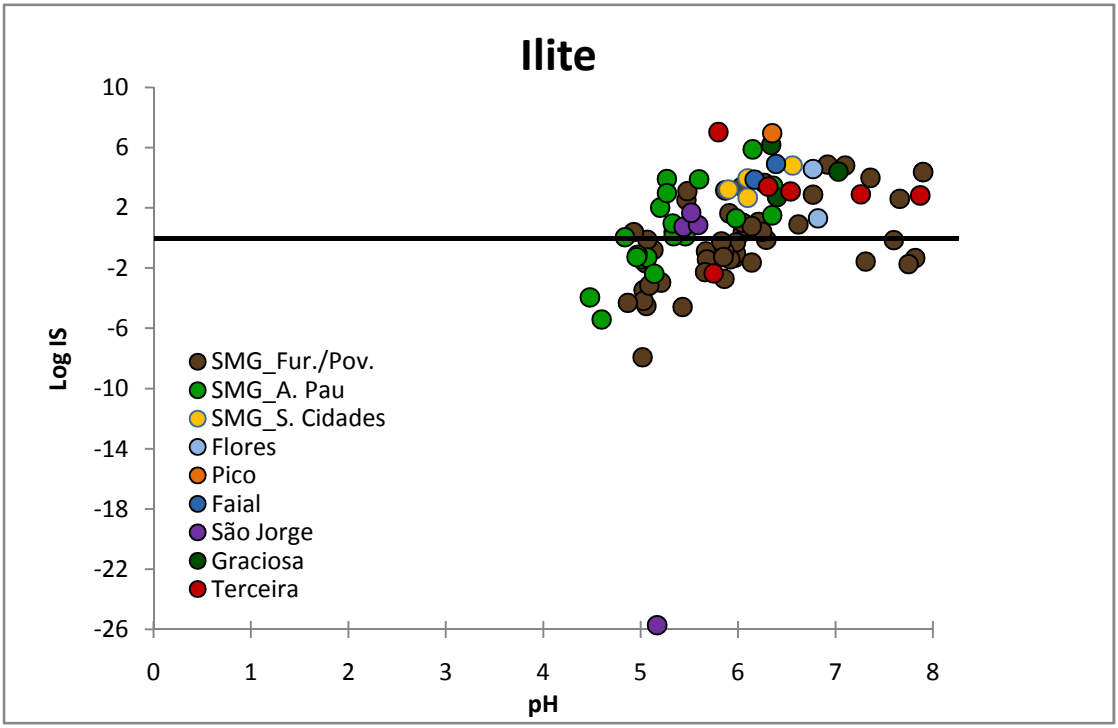


Figura 6.32 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à ilite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

Todas as águas minerais dos Açores estão subsaturadas em gesso e em fluorite, com excepção da nascente da Magarça (Ref. 71) sobressaturada em gesso (Figura 6.33), e das nascentes Azeda da Ribeira do Fogo (Ref. 50) e Azeda da Caldeira de Santo Cristo (Ref. 96) ambas sobressaturadas em fluorite (Figura 6.34).

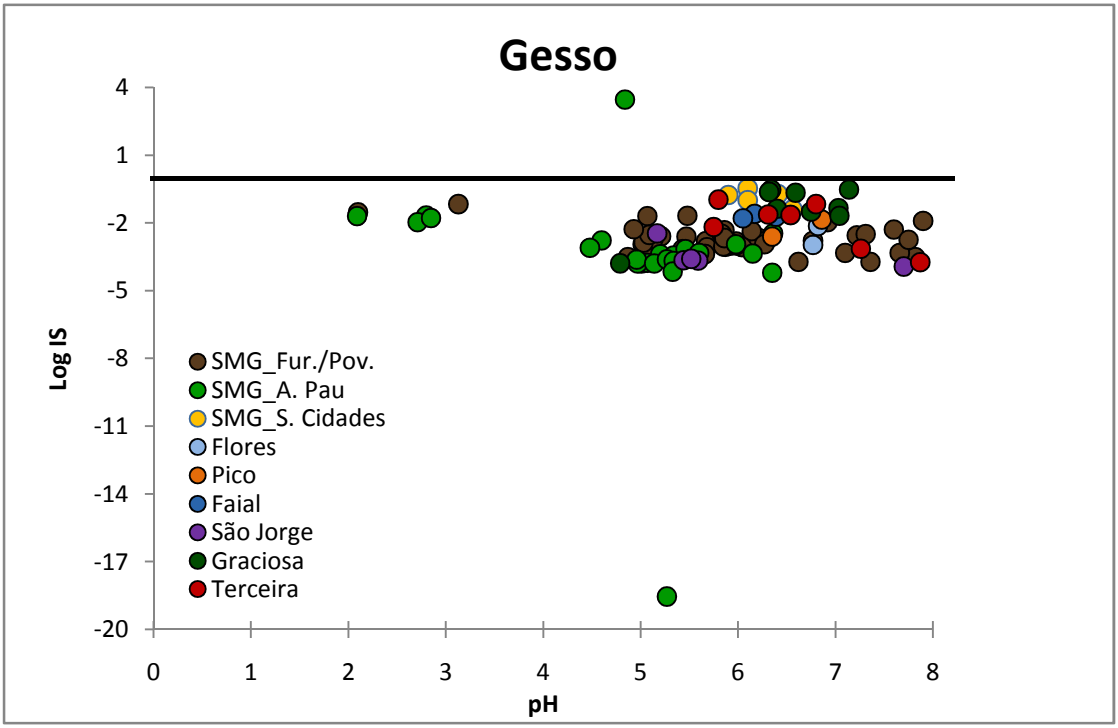


Figura 6.33 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente ao gesso em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

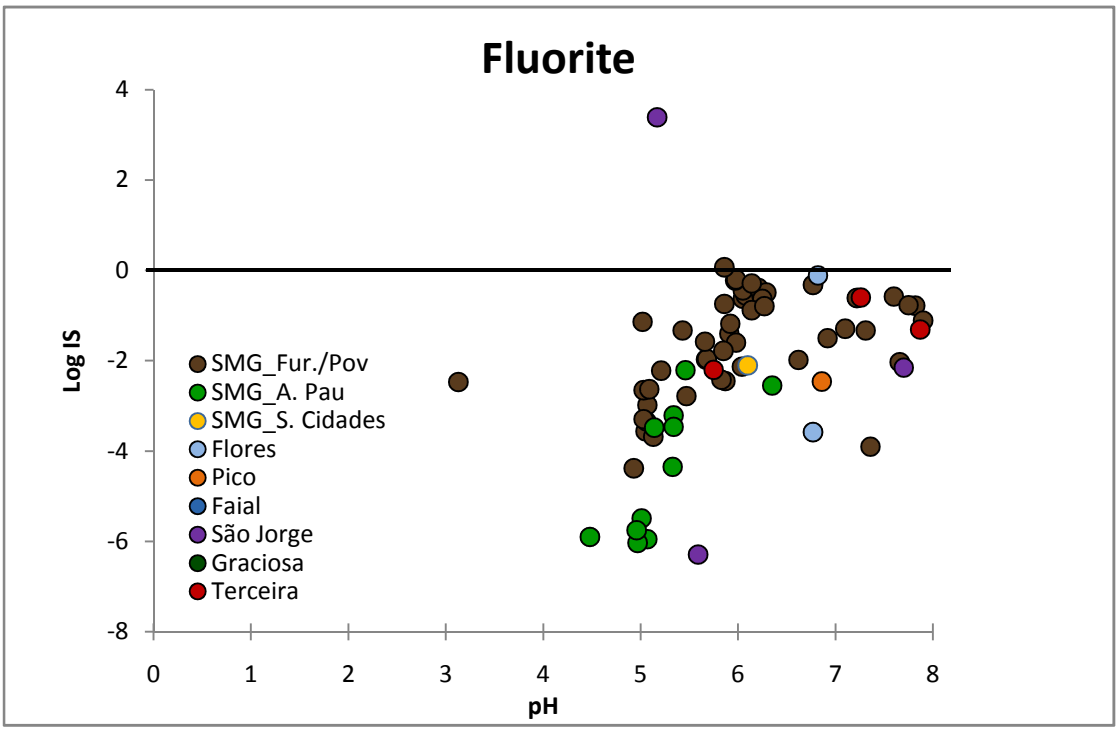


Figura 6.34 | Variação do logaritmo do índice de saturação (Log IS), relativamente à fluorite em função do pH existente nas águas minerais dos Açores.

6.8 | PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS

Num sistema hidrogeológico natural (sistema fechado e heterogéneo), se as condições externas forem constantes e o tempo for prolongado, os processos químicos entre os corpos hídrico e rochoso evoluem até se atingir o equilíbrio químico (Matess, 1982 in Azevedo, 1998).

O equilíbrio químico, caracterizado pelo facto de a reacção directa e inversa continuarem a processar-se, com velocidades iguais (equilíbrio dinâmico), pode deslocar-se, isto é, evoluir no sentido da reacção directa ou inversa, se as condições externas ou internas (temperatura, variação das concentrações das espécies químicas em presença) forem alteradas, até se atingir um novo equilíbrio. A evolução para um novo estado de equilíbrio é regida pela Lei de Le Châtelier: "se as condições de um sistema, inicialmente em equilíbrio, forem alteradas o sistema evolui no sentido de restaurar as condições iniciais, isto é, contrariando as alterações introduzidas e consequentemente as concentrações das espécies químicas envolvidas" (Chang, 1996). O ritmo a que esta evolução se processa, velocidade da reacção, depende do tempo de residência médio, relacionado com o processo de circulação hídrica (superficial ou de profundidade), mas também da natureza, alteração e heterogeneidade do meio rochoso, bem como da área da superfície de contacto (Azevedo, 1998).

As concentrações das espécies químicas em solução nas águas minerais são fruto do equilíbrio estabelecido entre a água e as espécies sólidas das rochas constituintes dos aquíferos, a que se acrescenta no caso das águas minerais do arquipélago dos Açores, de origem vulcânica, a absorção de voláteis, especialmente CO_2, a mistura com fluidos hidrotermais e contaminação marinha.

No gráfico, que representa a relação entre a condutividade eléctrica e a concentração do ião Cl^-, dos pontos de água mineral da ilha de São Miguel, distribuídos pelas massas de água, Furnas - Povoação, Água de Pau e Sete Cidades e, das ilhas Flores, Pico, Faial, São Jorge, Graciosa e Terceira (figura 6.35). A observação deste gráfico permite concluir que todas as amostras pertencentes à ilha Graciosa, à massa de água Sete Cidades - São Miguel e à ilha do Faial, bem como quatro amostras da ilha Terceira (Serreta II - Ref. 108, Silveira - Ref. 110, Bravio - Ref. 111, Negrito - Ref. 114) e uma amostra da ilha do Pico (Santo Amaro - Ref. 89) são as que apresentam os valores mais altos da condutividade eléctrica e de concentração de Cl^- observando-se uma relação linear entre estas duas grandezas, o que evidencia uma mistura com sais marinhos e está de acordo com o facto de estes pontos de água

mineral emergirem de aquíferos de base. Pelo contrário as amostras que pertencem às massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau, com excepção da FC1_Vieira e Vieira (Ref. 74) e da FC2_Bel Portugal (Ref. 75) apresentam valores de de condutividade eléctrica e concentração de Cl^- muito baixos, próximos da origem dos eixos onde estão representadas estas grandezas, o que é confirmado no gráfico da figura 6.36 (semelhante ao da figura 6.35, mas de maior escala) e está de acordo com estas emergências corresponderem a aquíferos de altitude.

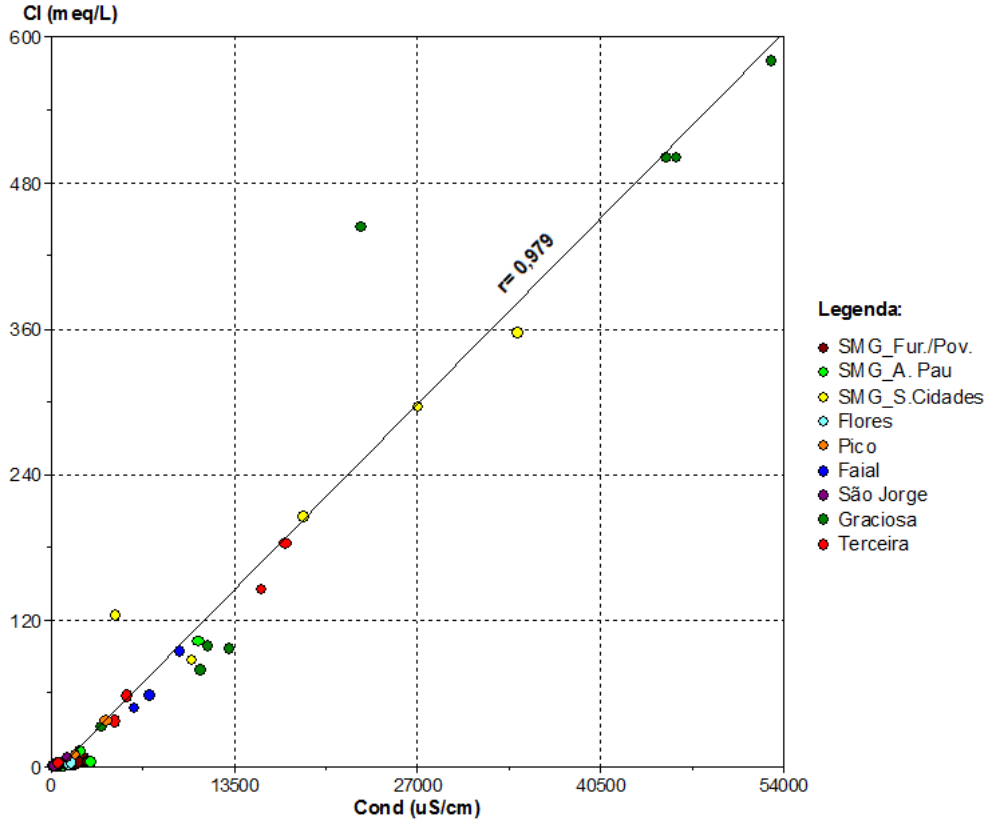


Figura 6.35 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em cloreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

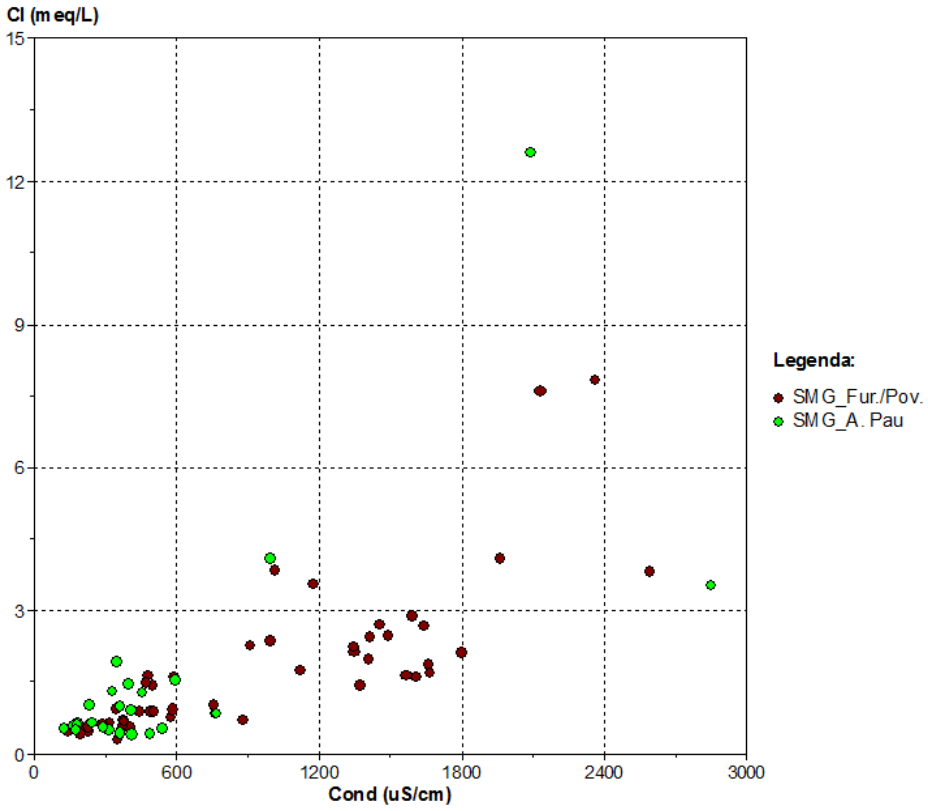


Figura 6.36 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em cloreto nas águas minerais das massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau.

A observação do gráfico condutividade eléctrica versus Cl^-, relativo apenas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira permite concluir que os pontos de água mineral das ilhas Terceira (Água Santa - Ref. 109, Tomo do Porto - Ref. 112, Biscoito Bravo - Ref. 113 e Furo Angra - Ref. 116), Pico (Silveira - Ref. 88), Flores (Lajedo - Ref. 87) e São Jorge (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96) poderão indiciar algum grau de mistura com sais marinhos, na medida que os teores de cloretos são superiores à concentração média observada nas nascentes dos Açores (Cruz & Amaral, 2004). O mesmo gráfico mostra que as emergências da ilha de São Jorge (Fajã dos Vimes I - Ref. 93; Fajã dos Vimes II - Ref. 94, Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e a outra emergência da ilha das Flores (Poio Moreno - Ref. 86) apresentam baixas concentações de ião Cl^-, corroborando o facto de estas emergências corresponderem a aquíferos de altitude, não sujeitos por isso a intrusão marinha (figura 6.37).

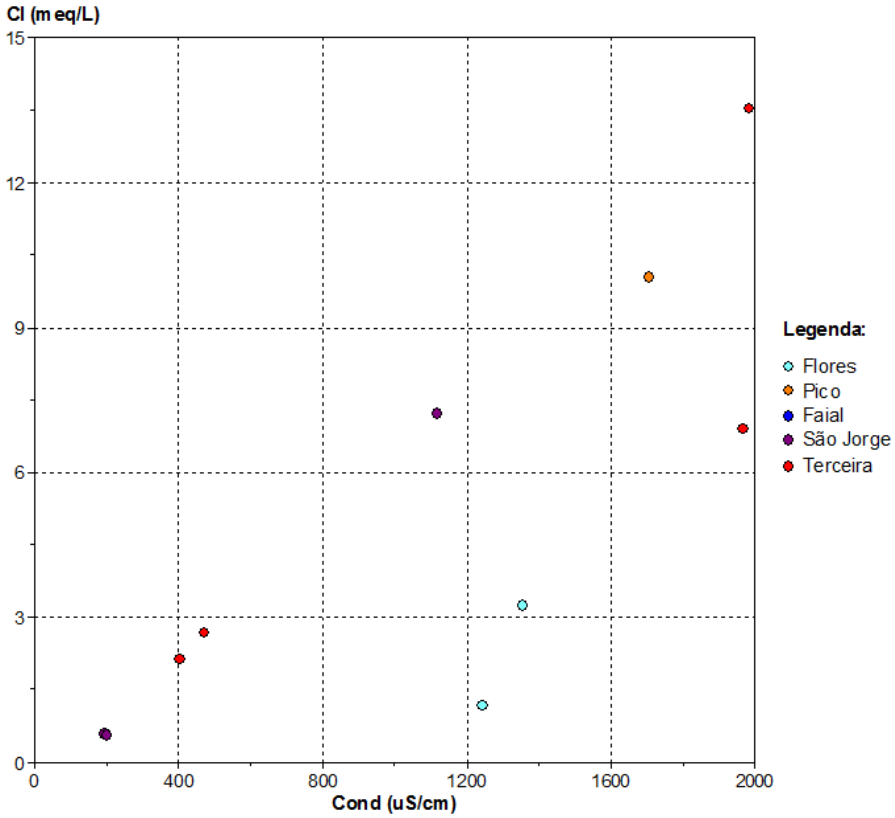


Figura 6.37 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em cloreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Nos gráficos, que representam a relação entre as concentrações do ião Na^+ e do ião Cl^-, é notória a relação linear entre as duas concentrações para os pontos de água mineral das ilhas, Graciosa, São Miguel - Sete Cidades, Faial, Terceira, Pico e Flores (Lajedo - Ref. 87), todos provenientes de aquíferos de base, junto ou próximos do mar, o que vem mostrar que o principal processo modificador da composição química das águas minerais é a mistura com sais marinhos (figura 6.38 e 6.39). Confirmando esta conclusão, constata-se que os pontos de água mineral da ilha de São Jorge (Fajã dos Vimes I - Ref. 93, Fajã dos Vimes II - Ref. 94, Fajã dos Vimes III - Ref. 95 e Fajã do Nortezinho - Ref. 97) e da ilha das Flores (Poio Moreno - Ref 86), que correspondem a aquíferos de altitude, apresentam valores reduzidos de concentrações de Na^+ e de Cl^-, sendo representados nos gráficos mencionados anteriormente, junto da origem dos eixos.

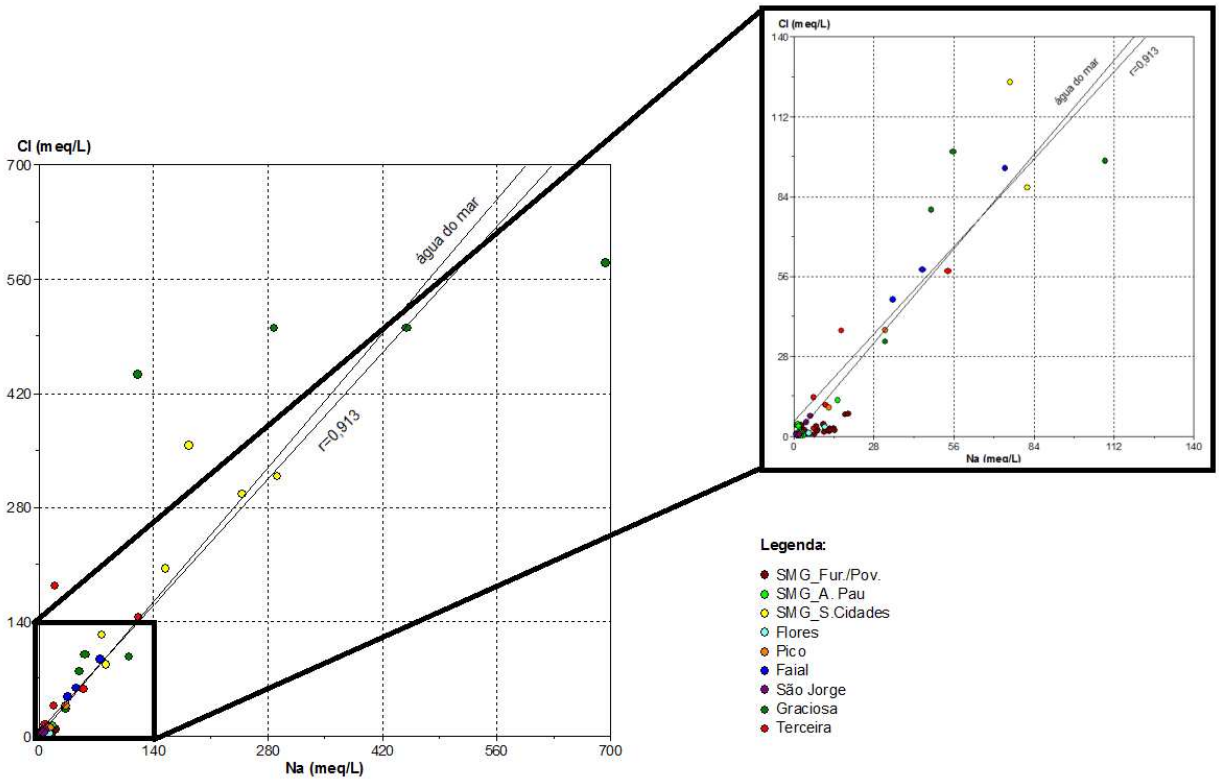


Figura 6.38 | Relação entre as concentrações de sódio e cloreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

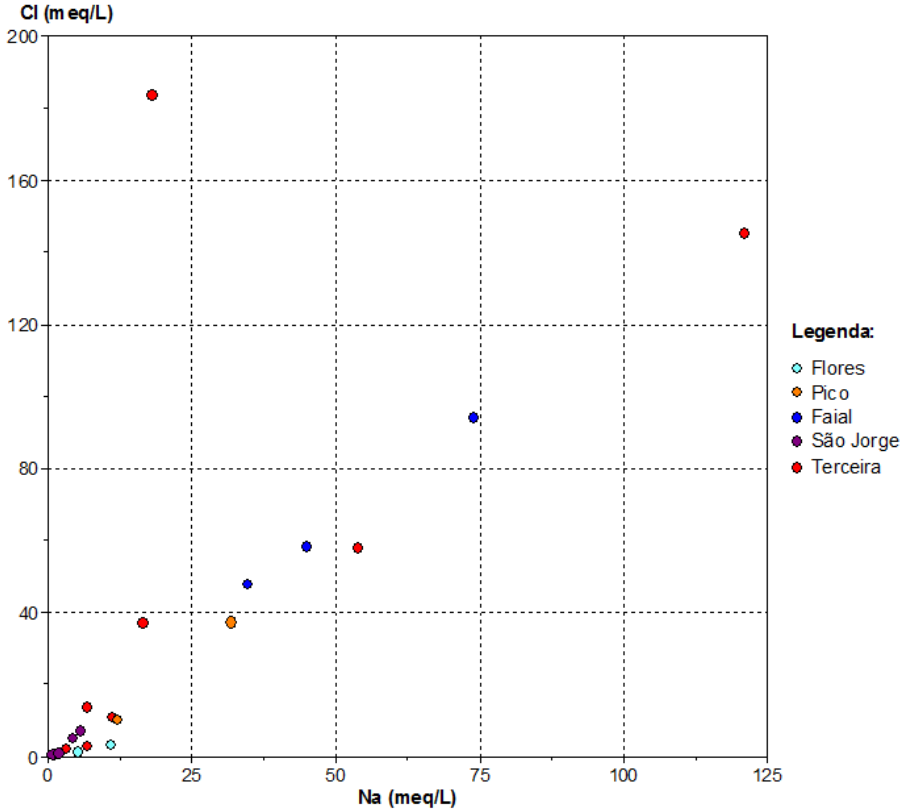


Figura 6.39 | Relação entre as concentrações de sódio e cloreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

A sílica (SiO_2) das águas minerais das ilhas dos Açores, particularmente as da ilha de São Miguel, provém do ataque e dissolução dos minerais silicatados pertencentes às rochas. Nesta reacção são muito importantes três factores: a temperatura, o valor do pH das águas que controla a agressividade das mesmas e que favorece a solubilização de SiO_2, sempre que o pH aumenta, e o CO_2 livre que também intervém na solubilização de SiO_2, devido à sua acção de tampão (Custódio & Llamas, 1983).

A relação entre a temperatura e a concentração de SiO_2 dos pontos de água mineral dos Açores está representada na figura 6.40. Relativamente às amostras pertencentes à massa de água Furnas - Povoação, verifica-se que, de um modo geral, um aumento de temperatura se traduz por um aumento de concentração de SiO_2, sugerindo os efeitos do processo de interacção água - rocha; esta influência do aumento de temperatura no aumento de concentração de SiO_2 não é visível para as emergências representadas à direita no gráfico, nomeadamente, as águas com a Ref. 3 (Caldeirão), Ref. 10 (Caldeira Grande), Ref. 11 (Caldeira do Asmodeu), Ref. 15 (Caldeira Lagoa das Furnas), Ref. 28 (Ponte), Ref. 36 (Caldeira do Esguicho), Ref. 37 (Água Santa), Ref. 40 (Caldeira dos Vimes), Ref. 41 (Caldeira dos Tambores) e Ref. 43 (Caldeira dos Inhames). O facto de, por vezes não ser evidente uma relação linear entre as duas grandezas representadas, deve-se a outros factores, principalmente ao pH das águas. Assim entre as emergências supracitadas, as de Ref. 10 (Caldeira Grande), Ref. 11 (Caldeira do Asmodeu), Ref. 28 (Ponte), Ref. 36 (Caldeira do Esguicho), Ref. 37 (Água Santa), que apresentam temperaturas muito altas, próximas de 100ºC e pH elevado (> 7), apresentam também concentrações elevadas de SiO_2, mas as amostras de Ref. 15 (Caldeira Lagoa das Furnas), Ref. 40 (Caldeira dos Vimes) e Ref. 41 (Caldeira dos Tambores), de elevada temperatura (> 92ºC) mas de pH mais baixo, respectivamente igual a 5,07, 5,83 e 4,93, bem como as amostras de Ref. 3 (Caldeirão) e Ref. 43 (Caldeira dos Inhames) de temperaturas mais baixas que as anteriores (cerca de 70ºC) e pH respectivamente igual a 5,91 e 4,93, apresentam baixas concentrações de SiO_2, relativamente ao expectável. O tempo de residência, a absorção de CO_2 de origem vulcânica e a mistura com fluidos hidrotermais podem também explicar os desvios de concentração de SiO_2 face à temperatura, a que acresce o facto de muitas águas se encontrarem sobressaturadas em quartzo e calcedónia.

No que se refere à massa de água, Água de Pau observa-se no geral uma relação sensivelmente linear entre a temperatura e a concentração de SiO_2, o que traduz o efeito de interacção água-rocha, com excepções que se enquadram em dois

conjuntos de amostras. O primeiro engloba as amostras de Ref. 65 (Fumarola da Ribeira Grande), Ref. 66 (Caldeira Grande R.G.), Ref. 67 (Caldeira Pequena R.G.), Ref. 70 (Caldeira Velha Fumarola) e Ref. 72 (Pico Alto), todas fumarolas, excepto a Ref. 72, com pH muito baixo; o segundo conjunto é constituído pelas amostras de Ref. 74 (FC1_Vieira e Vieira) e Ref. 75 (FC2_Bel Portugal), furos correspondentes a aquíferos de base onde há mistura com sais marinhos. Para as emergências da massa de água Sete Cidades - São Miguel (Ref. 80 a Ref. 85), todas pertencentes a aquíferos de base, próximos ou junto do mar e sujeitos à intrusão marinha, não há relação linear entre a temperatura e a concentração de SiO_2.

No gráfico da figura 6.41 encontram-se igualmente representados os pontos de água mineral da ilha das Flores, Ref. 86 (Poio Moreno) e Ref. 87 (Lajedo) apresentando o primeiro, que corresponde a um aquífero de altitude, uma tendência de relação linear geral entre a temperatura e a concentração de SiO_2 o que não se verifica para a Ref. 87 que corresponde a um aquífero de base. Também os pontos de água mineral da ilha do Pico que figuram no canto inferior esquerdo do presente gráfico, de Ref. 88 (Silveira) e Ref. 89 (Santo Amaro), ambos emergentes de aquíferos de base, não mostram qualquer relação entre a temperatura e a concentração de SiO_2, o mesmo acontecendo às emergências da ilha do Faial, de Ref. 90 (Capelo AC4), Ref. 91 (Varadouro PS4) e Ref. 92 (Fajã), todas correspondendo a aquíferos de base, sendo os dois primeiros furos.

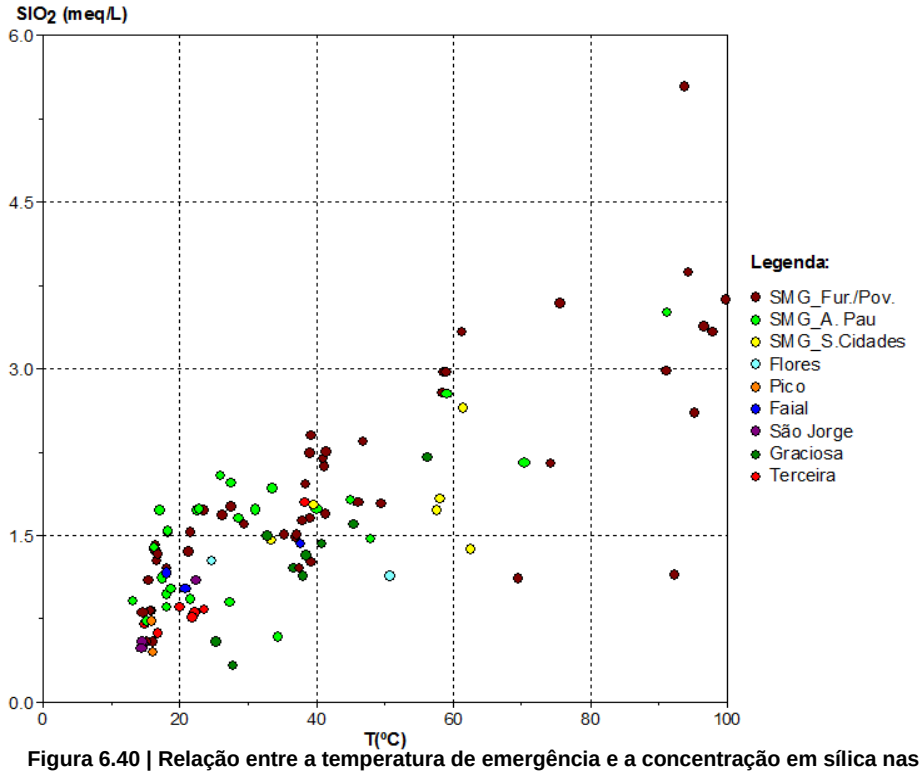


Figura 6.40 | Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

A observação do gráfico temperatura versus a concentração de SiO_2, apenas para as ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial, Pico e Flores, permite não só confirmar as apreciações feitas anteriormente, relativamente às ilhas das Flores, do Pico e do Faial como acrescentar que para as emergências das ilhas Terceira, Graciosa e São Jorge não se pode estabelecer uma relação linear entre a concentração de SiO_2 e a temperatura, sendo de referir a título de curiosidade que é o ponto de água mineral da ilha Graciosa de Ref. 104 (Homizíados I) que apresenta os valores mais elevados para a concentração de SiO_2 e de temperatura.

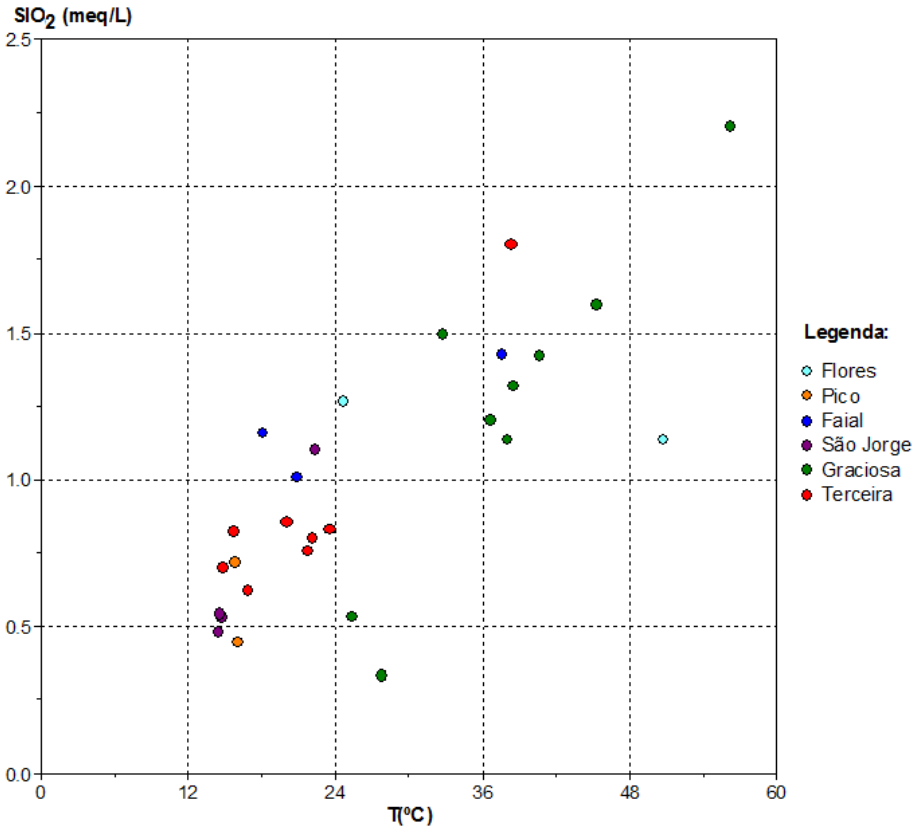


Figura 6.41 | Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Os efeitos do processo de mineralização das águas devido à interacção água-rocha podem ser apreciados no gráfico concentração de HCO_3^- versus concentração de SiO_2 ,onde estão representados os pontos de água mineral do arquipélago dos Açores (figura 6.42). Nas massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau, representadas na parte esquerda do gráfico, pode observar-se uma tendência geral do efeito de interacção água-rocha, uma vez que a um enriquecimento em HCO_3^- corresponde um acréscimo de concentração de SiO_2, com algumas excepções que vão ser analisadas a seguir.

Na massa de água Furnas - Povoação aparecem como excepções à tendência geral as amostras representadas à direita no gráfico, para os quais um aumento da concentração de HCO_3^- não é acompanhado por um acréscimo proporcional de concentração de SiO_2, a qual se mantém sensivelmente constante, ou até diminui. Os pontos de água mineral em causa são: Caldeira Grande - Ref. 10, Caldeira do Asmodeu - Ref. 11, Quenturas I - Ref. 12, Quenturas III - Ref. 14, Caldeira Lagoa das Furnas - Ref. 15, Torno - Ref. 17, Grutinha I - Ref. 18, Grutinha II - Ref. 19, Água da Poça - Ref. 20, Morangueira - Ref. 21, Banhos Férreos I (balneário) - Ref. 22, Banhos Férreos I (nascente) - Ref. 23, Banhos Férreos II - Ref. 24, Banhos Férreos IV - Ref. 26, Água Férrea - Ref. 27, Ponte - Ref. 28, Padre José - Ref. 35, Caldeira do Esguicho - Ref. 36, Água Santa - Ref. 37, Ribeira Quente I - Ref. 48, Ribeira Quente III - Ref. 49 e Azeda Ribeira do Fogo - Ref. 50, todos correspondentes a aquíferos de altitude. A elevada condutividade destas águas, respectivamente igual a 2130 µS/cm, 2360 µS/cm, 1345 µS/cm, 1341 µS/cm, 764 µS/cm, 1452 µS/cm, 1489 µS/cm, 1408 µS/cm, 1588 µS/cm, 1638 µS/cm, 1659 µS/cm, 1663 µS/cm, 1605 µS/cm, 1369 µS/cm, 1404 µS/cm, 876 µS/cm, 753 µS/cm, 1776 µS/cm, 992 µS/cm, 1007 µS/cm, 1174 µS/cm e 1120 µS/cm põe em evidência um longo tempo de residência (circuito de águas minerais mais profundo), isto é uma forte interacção água-rocha, confirmada pelos respectivos teores de SiO_2., também influenciados pela temperatura e pH da água mineral.

Na massa de água, Água de Pau encontram-se dois tipos de excepções no que diz respeito à relação linear entre as duas grandezas representadas. No primeiro tipo encontram-se os pontos de água mineral de Ref. 60 (Lombadas), Ref. 61 (Lombadas - Furo I), Ref. 62 (Lombadas - Furo II) e Ref. 64 (Lombadas II) que apresentam valores relativamente baixos de condutividade, respectivamente iguais a 360 µS/cm, 537 µS/cm, 485 µS/cm e 407 µS/cm, os quais sugerem um curto tempo de residência, traduzida por uma menor interacção água-rocha e confirmada por teores mais baixos de SiO_2, face às excepções mencionadas para a massa de água Furnas - Povoação. No segundo tipo de excepções à tendência geral encontram-se os pontos de Ref. 74 (FC1_Vieira e Vieira) e Ref. 75 (FC2_Bel Portugal), os quais face ao aumento de concentração de HCO_3^- apresentam sensivelmente o mesmo valor de concentração de SiO_2, o que se explica, atendendo à elevada condutividade, respectivamente de 2090 µS/cm e 10800 µS/cm, pela influência de mistura com sais marinhos e está de acordo com o facto de estas amostras corresponderem a aquíferos de base.

Nas amostras pertencentes à massa de água Sete Cidades não se verifica qualquer relação entre os teores de HCO_3^- e SiO_2; trata-se de águas minerais

pertencentes a aquíferos de base, junto ou perto do mar, cuja mineralização é fortemente influenciada pela mistura com sais marinhos, como o confirmam as elevadas condutividades eléctricas características destas emergências.

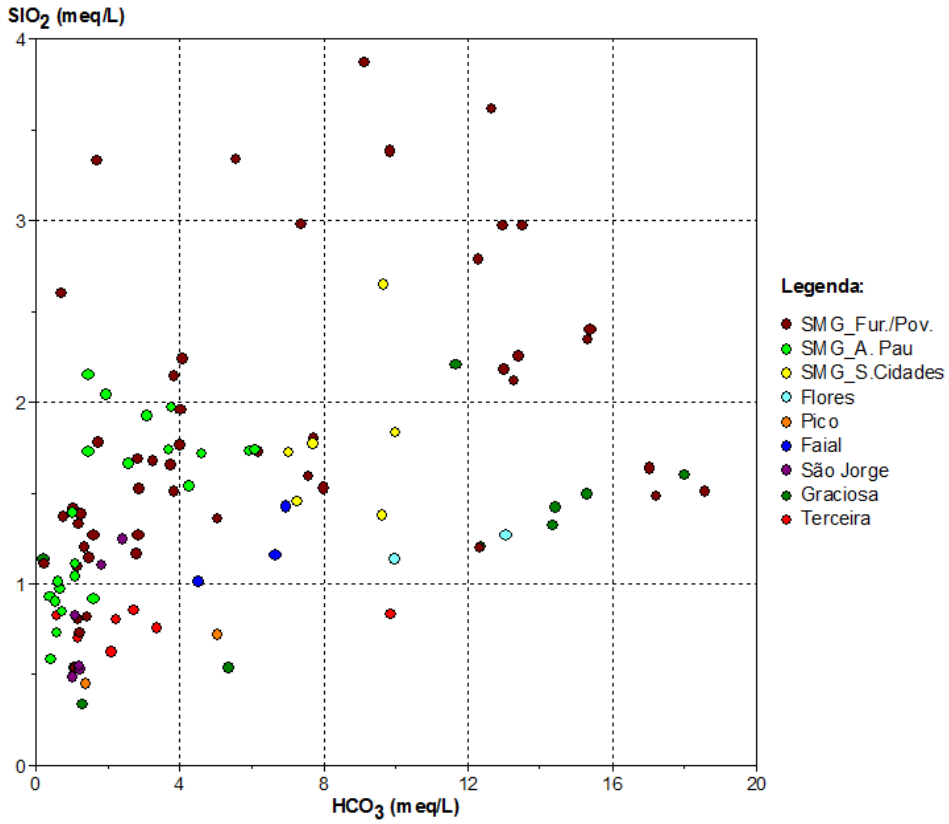


Figura 6.42 | Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais ao arquipélago dos Açores.

A projecção respeitante à da figura 6.43, semelhante à da figura 6.42, mas de maior pormenor (escala maior), representa a relação da concentração de HCO_3^- com a concentração de SiO_2) para os pontos de água mineral das ilhas, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores; da observação da figura pode concluir-se que, tal como acontece para os pontos de água mineral da massa de água Sete Cidades - São Miguel, estas duas variáveis são independentes entre si, registando-se, no entanto, que os pontos de água mineral que genericamente possuem maiores concentrações de SiO_2 e de HCO_3^- são os que pertencem à ilha Graciosa, com destaque para a emergência de Ref. 104 (Homizíados I), e os que apresentam menores teores de SiO_2 e de HCO_3^- são os concernentes à ilha de São Jorge de Ref. 93 (Fajã dos Vimes I), Ref. 94 (Fajã dos Vimes II) e Ref. 95 (Fajã dos Vimes III).

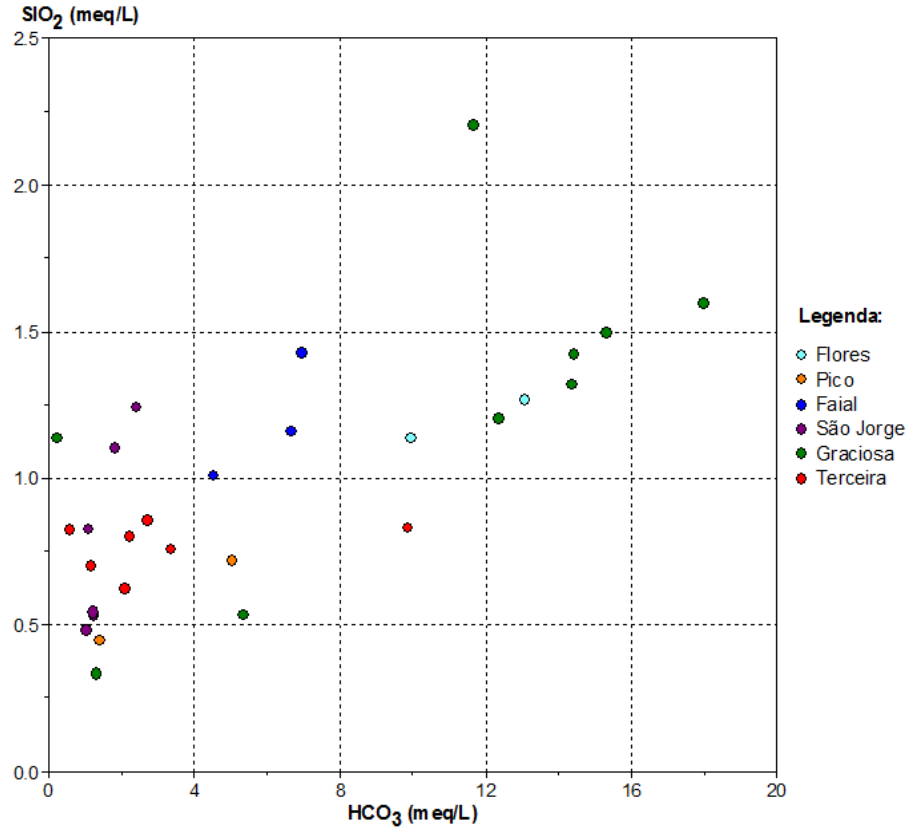


Figura 6.43 | Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

A relação entre a condutividade eléctrica e o teor de HCO_3^- dos pontos de água mineral do arquipélago dos Açores está representada nas figuras 6.44, 6.45 e 6.46.

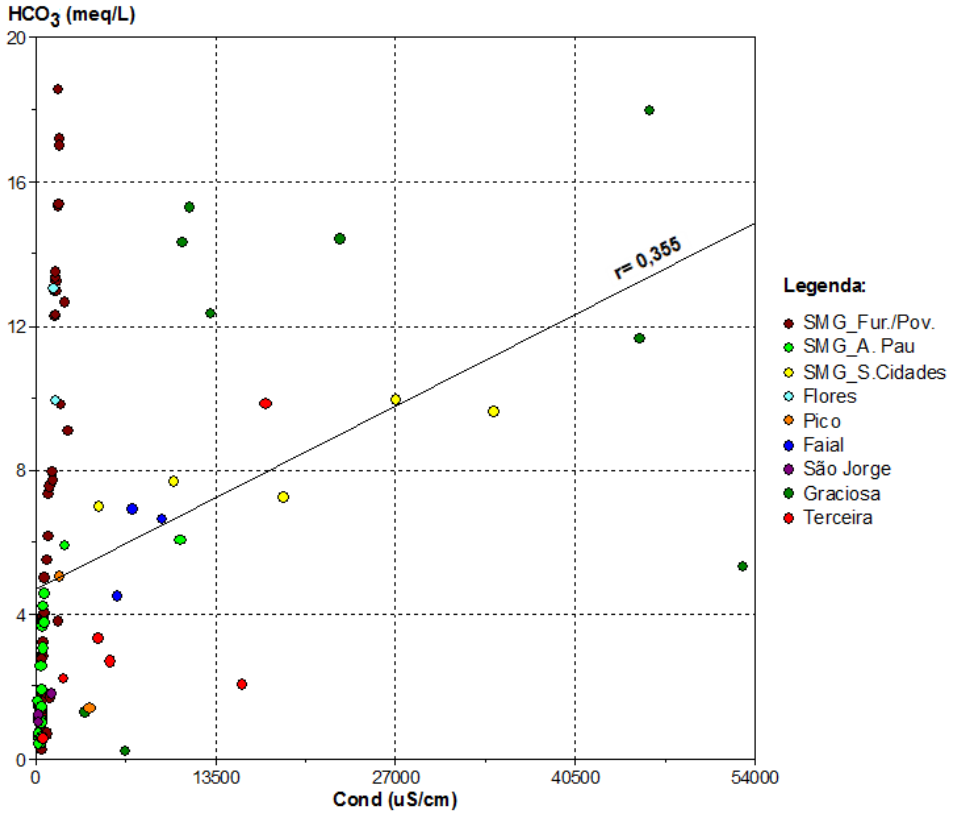


Figura 6.44 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

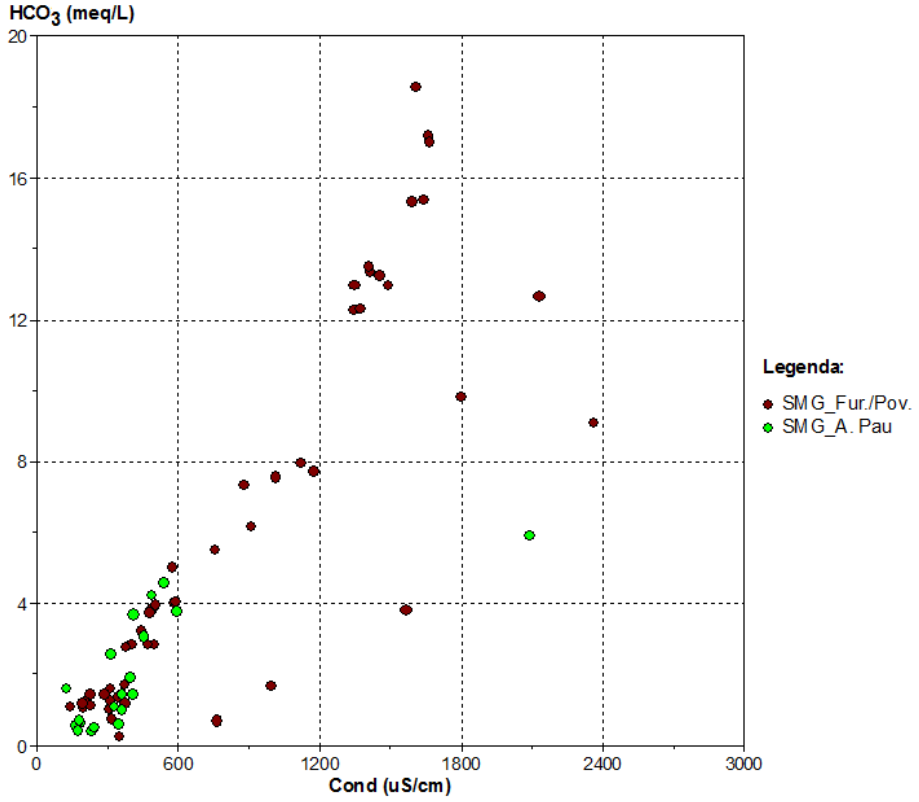


Figura 6.45 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais das massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau.

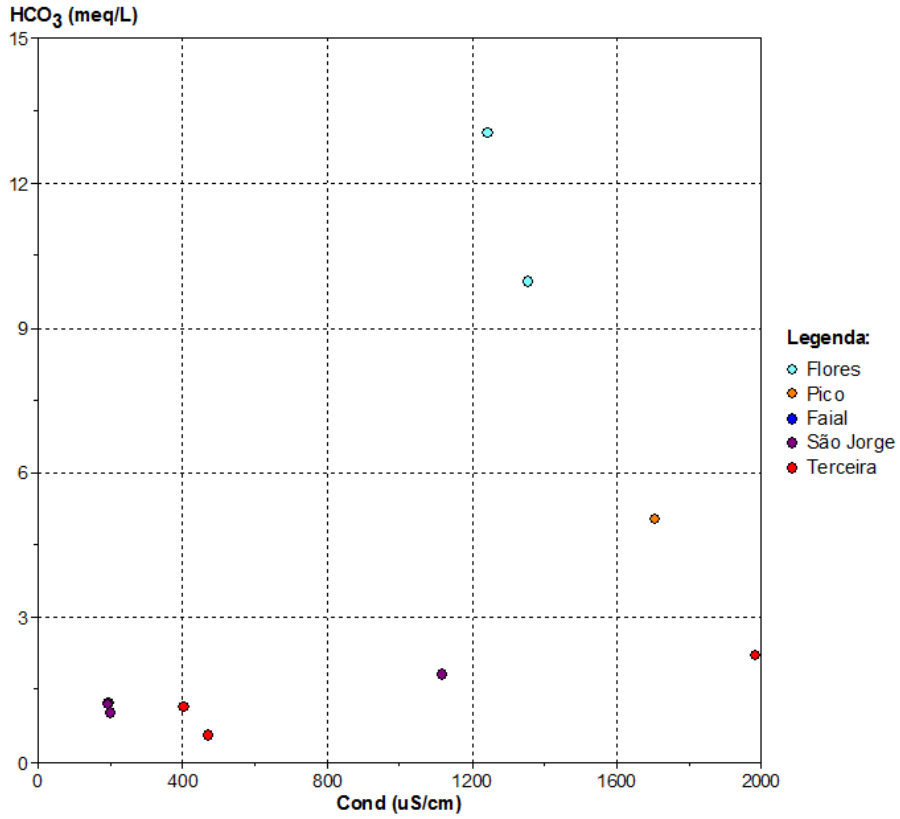


Figura 6.46 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicabornato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

A observação conjugada das figuras referidas anteriormente evidencia duas tendências distintas. A primeira traduz-se pela existência de uma relação linear entre o teor de HCO_3^- e a condutividade eléctrica para as amostras da massa de água Furnas - Povoação, bem como para a grande maioria das emergências na massa Água de Pau, para as quais um enriquecimento de HCO_3^- é acompanhado de um acréscimo sensivelmente proporcional de condutividade; esta tendência é fruto de absorção de voláteis vulcânicos, com predomínio de CO_2, e da interacção água-rocha, devido a um tempo relativamente longo de permanência.

A segunda tendência caracteriza-se pela independência entre as duas grandezas referidas e é representada por todas as amostras da massa de água Sete Cidades, para as quais um grande aumento de condutividade se traduz por pequenas variações de concentração em HCO_3^-, pelas amostras de Ref. 74 (FC1_Vieira e Vieira) e de Ref. 75 (FC2_Bel Portugal) pertencentes à massa de água, Água de Pau e pelas amostras das ilhas Graciosa, Flores, Pico, Faial, Terceira e São Jorge (figura 6.44); esta segunda tendência é fruto da mistura de sais marinhos, uma vez que as emergências referidas correspondem a aquíferos de base, costeiros, com excepção das da ilha de São Jorge que aliás, fora o ponto de água mineral de Ref. 96 (Azeda da

Caldeira Santo Cristo), apresentam muito baixos valores de condutividade e de teor de HCO_3^-.

Relativamente à relação entre a condutividade eléctrica e do teor de fluoreto observa-se que aparentemente não existe uma relação linear entre estas duas grandezas (r=0,047) (figura 6.47). No entanto, uma observação detalhada permite inferir que para às águas minerais existentes na massa de água Furnas-Povoação, na ilha de São Miguel, ao enriquecimento de fluoreto corresponde, no geral, um aumento da condutividade eléctrica (figura 6.48).

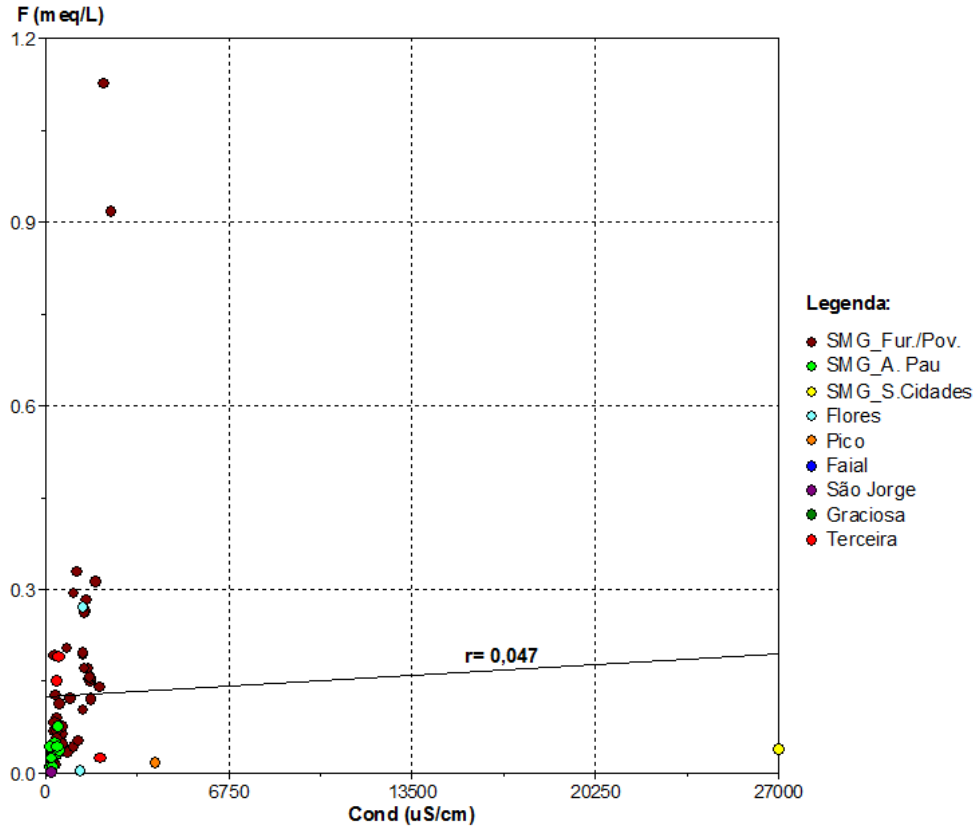


Figura 6.47 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em fluoreto nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

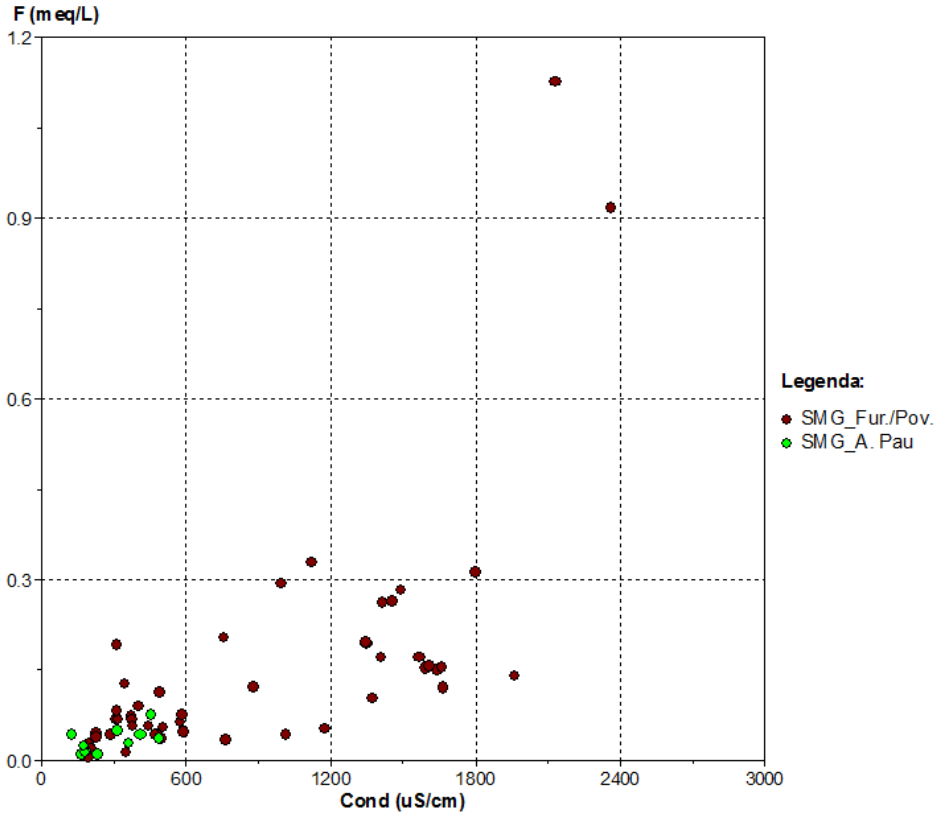


Figura 6.48 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em fluoreto nas águas minerais das massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau.

Os pontos de água mineral nos Açores que têm uma concentração elevada em fluoretos encontram-se na ilha de São Miguel, na massa de água Furnas - Povoação (Caldeira Grande - Ref. 10, Caldeira do Asmodeu - Ref. 11, Grutinha I - Ref. 18, Grutinha II - Ref. 19, Caldeira do Esguicho - Ref. 36 e Água Santa - Ref. 37 e Azeda da Ribeira do Fogo - Ref. 50), e na ilha das Flores (Lajedo - Ref. 87) (figuras 6.47, 6.48 e 6.49).

A presença de fluoreto (F^-) nas águas minerais deve-se à interacção água – rocha (rochas constituídas por minerais que contêm flúor - flúorapatite, fluorite - e aluminossilicatos - anfíbolas e plagioclases - e à absorção de voláteis vulcânicos (HF). O facto de não ser observável uma relação linear entre o teor de F^- e a condutividade eléctrica deve-se à influência de outros factores, em especial o pH e a temperatura, verificando-se que a um aumento de pH ou de temperatura corresponde um aumento de teor de F^-. No caso vertente, não controla o teor de Ca^{2+} e F^-, com excepção da água mineral Azeda da Ribeira do Fogo (Ref. 94).

Quando o pH é menor ou igual a cinco, na presença de alumínio (Al) formam-se complexos do tipo AlF; à medida que o pH aumenta, os complexos AlF cedem lugar aos complexos do tipo AlOH, aumentando assim o teor de F^- (Cordeiro, 2011).

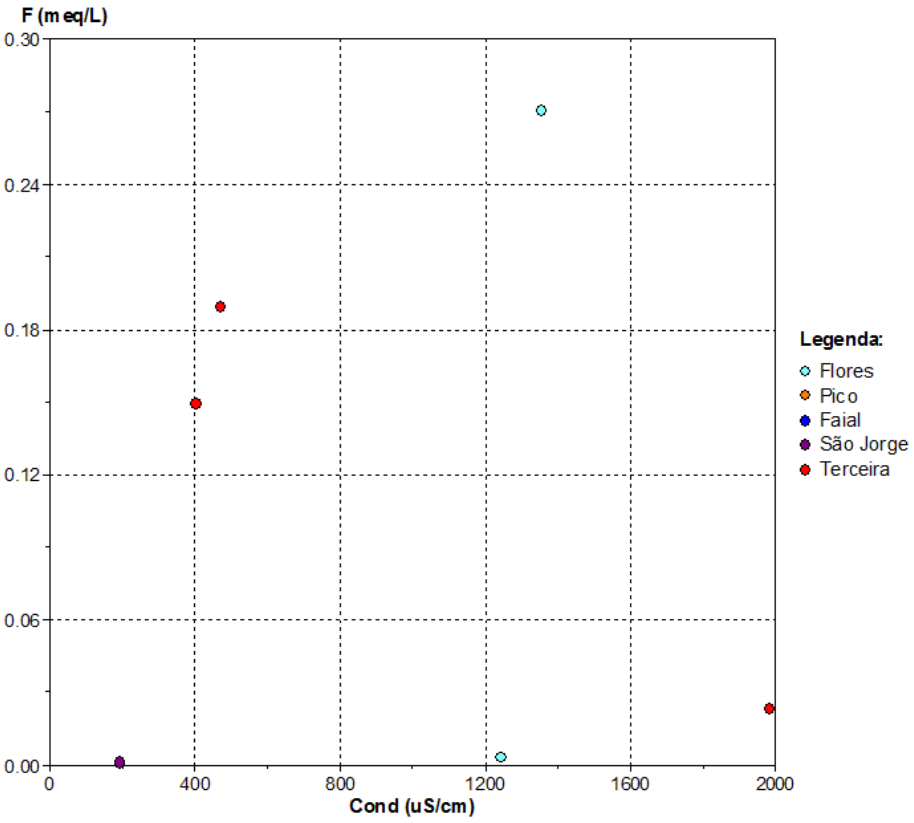


Figura 6.49 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em fluoreto nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

A relação entre a concentração de SO_4^{2-} e a condutividade eléctrica mostra a influência do processo de aquecimento por vapor, com oxidação de formas reduzidas de enxofre (S e S^{2-}) à forma oxidada SO_4^{2-}, reacção que provoca a descida do valor de pH (figuras 6.50 e 6.51). Assim, na massa de água Furnas - Povoação, as amostras de Ref. 15 (Caldeira da Lagoa das Furnas), Ref. 41 (Caldeira dos Tambores) e Ref. 46 (Caldeiras Barrentas), todas fumarolas, para as quais se pode estabelecer uma relação sensivelmente linear entre a concentração de SO_4^{2-} e a condutividade, e cujo valor de pH é respectivamente igual a 5,07, 3,13 e 2,10, evidenciam este processo modificador da composição química das águas minerais, o mesmo acontecendo na massa de água, Água de Pau para as amostras de Ref. 65 (Fumarola da Ribeira Grande), Ref. 66 (Caldeira Grande Ribeira Grande), Ref. 67 (Caldeira Pequena da Ribeira Grande) e Ref. 70 (Caldeira Velha Fumarola), todas fumarolas, cujo valor de pH é respectivamente igual a 2,80, 2,71, 2,85 e 2,09. Os pontos de água mineral que

pertencem à massa de água Sete Cidades (Ferraria II - Ref. 81, Ferraria III - Ref. 82, Ferraria IV - Ref. 83, Mosteiros - Ref. 84 e São Lázaro - Ref. 85) e às ilhas Graciosa (Carapacho Nascente - Ref. 99, Carapacho AC1 - Ref. 100, Carapacho PS1 - Ref. 101, Carapacho PS2 - Ref. 102, Carapacho PS3 - Ref. 103, Homiziados I - Ref. 104), Faial (Capelo AC4 - Ref. 90, Varadouro PS4 - Ref. 91 e Fajã - Ref. 92), Pico (Santo Amaro - Ref. 89) e Terceira (Serreta II - Ref. 108, Bravio - Ref. 111 e Negrito - Ref. 114), representadas na figura 6.50, acrescidos das emergências da ilha Terceira (Tomo do Porto - Ref. 112 e Biscoito Bravo - Ref. 113), da ilha das Flores (Poio Moreno - Ref. 86 e Lajedo - Ref. 87), da ilha de São Jorge (Fajã dos Vimes I - Ref. 93, Fajã dos Vimes II - Ref. 94, Fajã dos Vimes III - Ref. 95) e da ilha do Pico (Silveira - Ref. 88) que figuram no gráfico da figura 6.52, evidenciam uma relação linear entre a condutividade eléctrica e a concentração de SO_4^{2-}, devido ao facto da composição química destas emergências anteriormente citadas ser dominada pela mistura com sais marinhos.

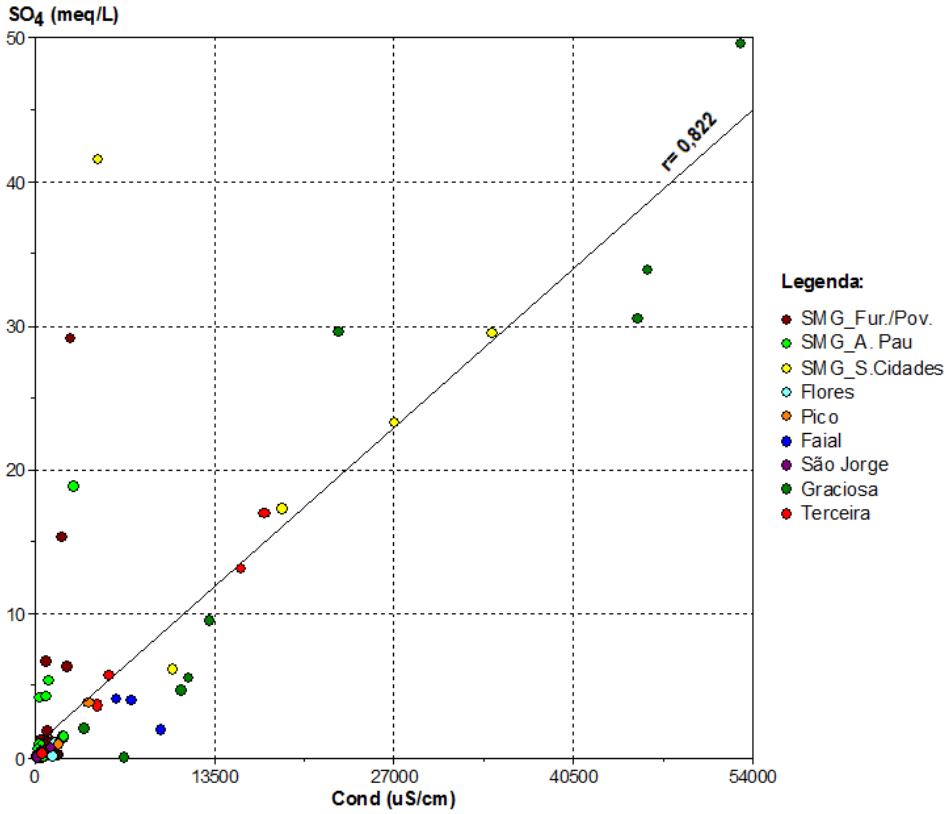


Figura 6.50 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sulfato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

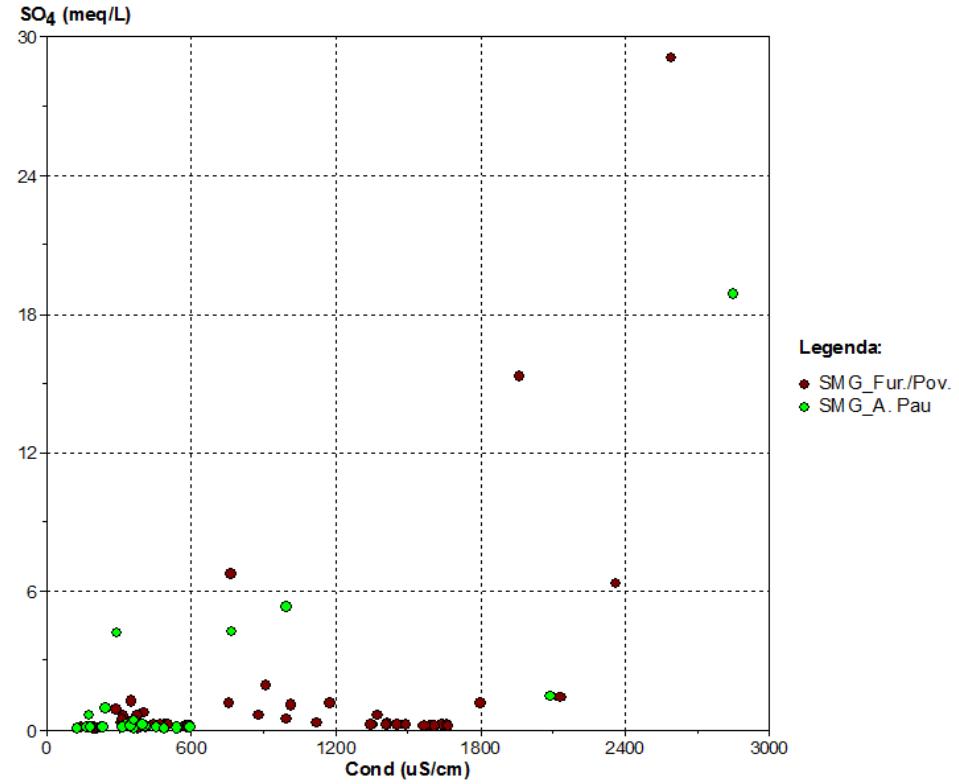


Figura 6.51 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sulfato nas águas minerais das massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau.

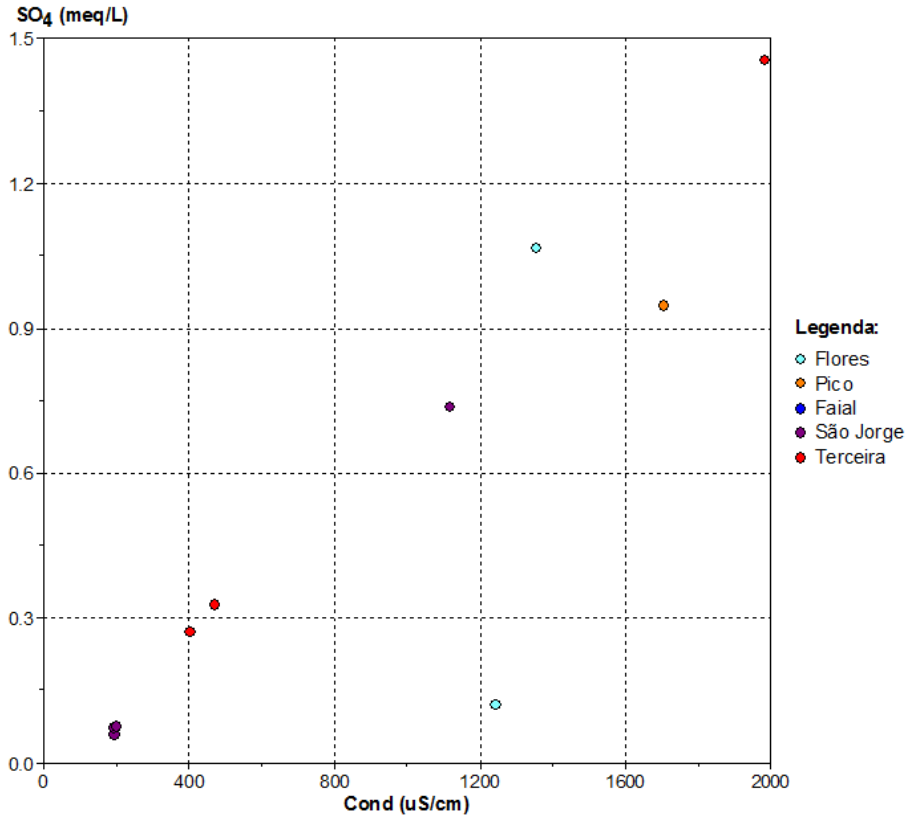


Figura 6.52 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sulfato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Os processos hidrogeoquímicos referidos anteriormente, relacionados com a origem do ião SO_4^{2-}, respectivamente, o aquecimento por vapor e a contaminação marinha podem ser confirmados nas figuras 6.53 e 6.54.

Na figura 6.53 está representado o teor Cl^- versus o teor SO_4^{2-} que põe em evidência a independência entre estas duas variáveis nas amostras das águas sulfatadas, quer da massa de água Furnas - Povoação (Caldeira do Asmodeu - Ref. 11, Caldeira Lagoa das Furnas - Ref. 15, Caldeira dos Tambores - Ref. 41 e Caldeiras Barrentas - Ref. 46), quer da massa de água, Água de Pau (Fumarola R.G. - Ref. 65, Caldeira Grande R.G. - Ref. 66, Caldeira Pequena R.G. - Ref. 67 e Caldeira Velha Fumarola - Ref. 70). Relativamente às amostras da massa de água Sete Cidades (Ferraria I - Ref. 80, Ferraria III - Ref. 82, Ferraria IV - Ref. 83, Mosteiros - Ref. 84, São Lázaro - Ref. 85) e da ilha da Graciosa [Carapacho (Nascente) - Ref. 99, Carapacho AC1 - Ref. 100, Carapacho PS1 - Ref. 101, Carapacho PS2 - Ref. 102, Carapacho PS3 - Ref.103; Homiziados I - Ref. 104, Homiziados II - Ref. 105 e Pontal - Ref. 107], observar-se uma relação sensivelmente linear entre o teor SO_4^{2-} e o teor Cl^-.

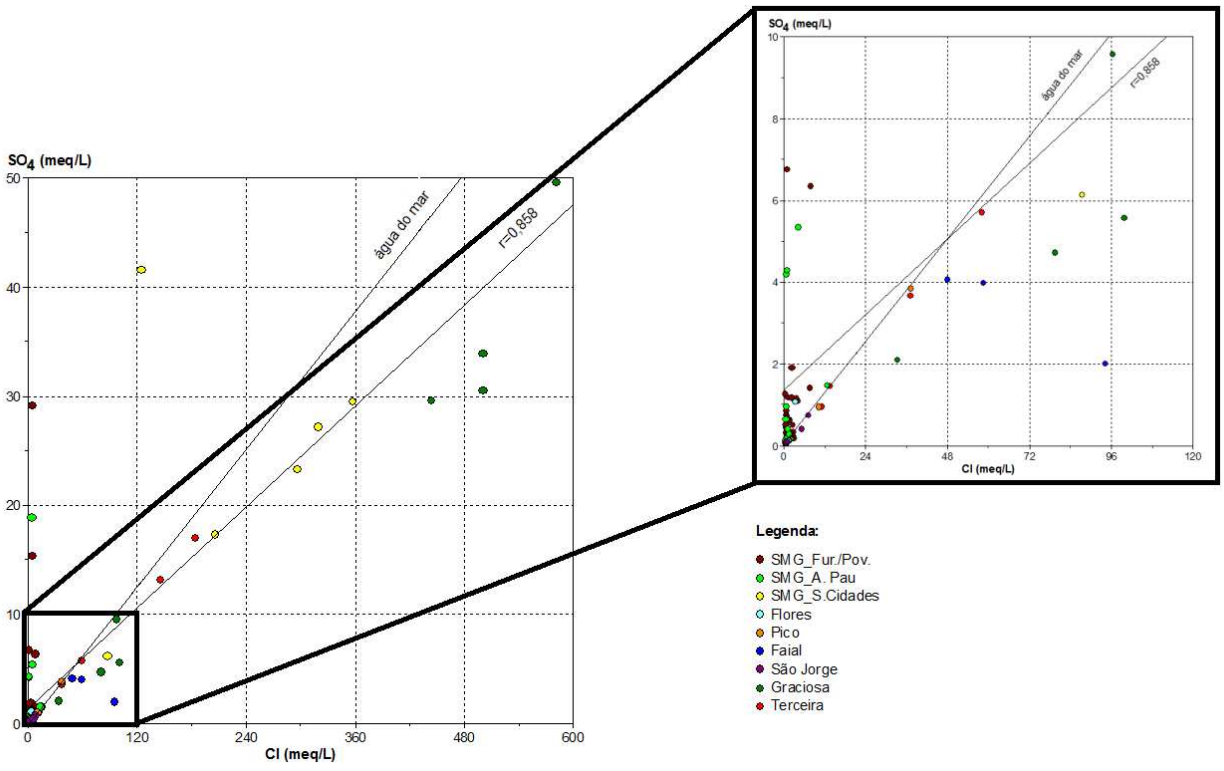


Figura 6.53 | Relação entre as concentrações de cloreto e sulfato nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Por sua vez, na figura 6.54 representa a projecção semelhante à figura 6.53, mas com os eixos truncados. Evidencia-se uma relação sensivelmente linear entre as duas grandezas representadas, nomeadamente para as amostras da ilha Terceira (Serreta II - Ref. 108, Água Santa - Ref. 109, Silveira - Ref. 110, Bravio - Ref. 111, Tomo do Porto - Ref. 112, Biscoito Bravo - Ref. 113, Negrito - Ref. 114 e Serreta I - Ref. 115), da ilha do Pico (Santo Amaro - Ref. 88 e Silveira - Ref. 89) e da ilha de São Jorge (Azeda Caldeira Santo Cristo - Ref. 96), o que não é observável para as restantes emergências da ilha de São Jorge (Fajã dos Vimes I - Ref. 93, Fajã dos Vimes II - Ref. 94, Fajã dos Vimes III - Ref. 95, Fajã do Nortezinho - Ref. 97 e Ponta da Forcada - Ref. 98) e para as emergências da ilha do Faial (Fajã - Ref. 90, Varadouro PS4 - Ref. 91 e Fajã - Ref. 92) (figura 6.54).

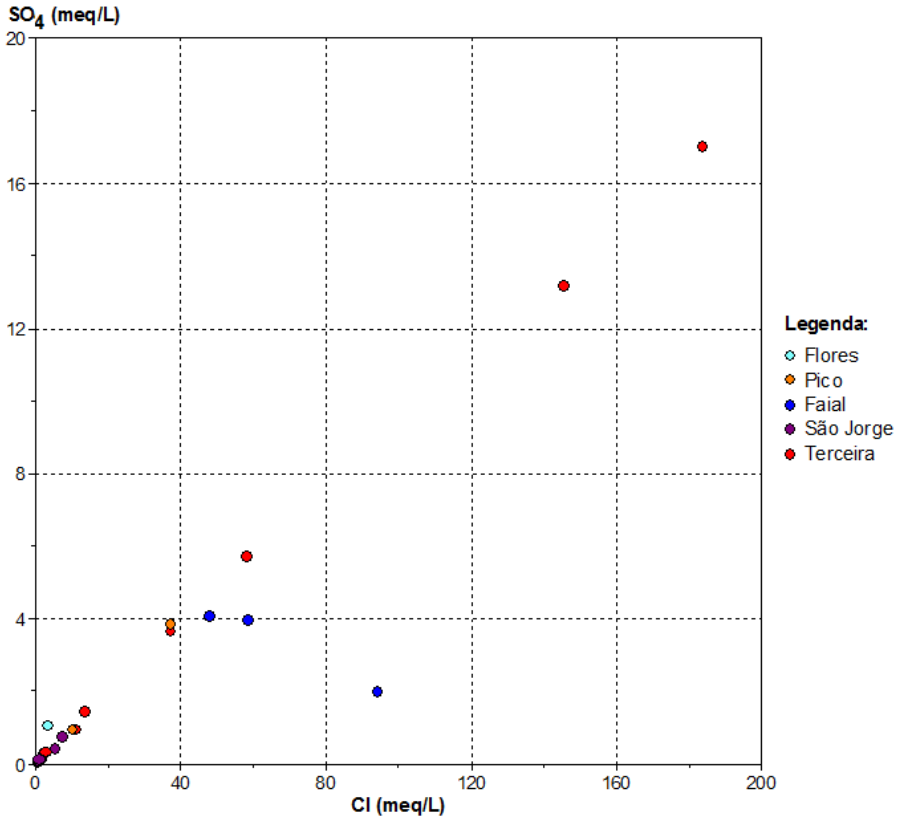


Figura 6.54 | Relação entre as concentrações de e cloreto e sulfato nas águas minerais relativas às ilhas das Flores, Pico, Faial, São Jorge e Terceira.

Relativamente à distribuição dos teores em Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+} e Mg^{2+} em função da condutividade eléctrica observa-se uma relação linear positiva bem marcada entre as variáveis. Este padrão sugere a influência de hidrólise dos minerais silicatados. Salienta-se, que a água subterrânea ao longo da sua percolação no subsolo poderá contactar com termos litológicos mais ou menos ácidos. Não obstante, o

enriquecimento nestas espécies iónicas depender do estado de saturação relativamente as diversas fases sólidas, nos casos do Na^+ e do Mg^{2+} não é excuír o contributo de sais de origem marinha (Figura 6.55).

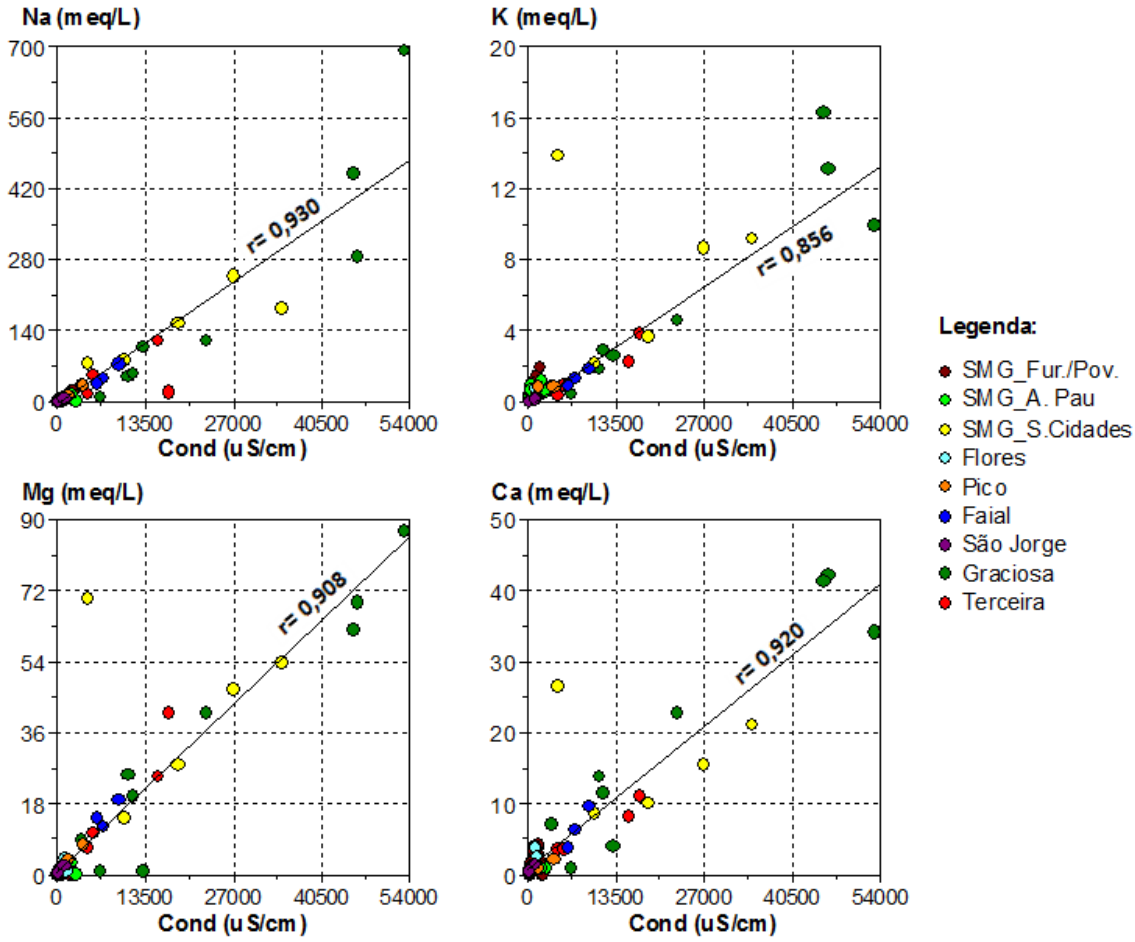


Figura 6.55 | Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em sódio, potássio, cálcio e magnésio nas águas minerais do arquipélago dos Açores.

Os dados hidrogeoquímicos relativos aos pontos de água mineral das ilhas de São Miguel, Terceira, Graciosa, São Jorge, Faial, Pico e Flores, decorrentes das campanhas de campo e da base de dados Hydrovulc possibilitaram a interpretação dos principais processos hidrogeoquímicos modificadores da composição química das águas minerais e confirmam a sua subdivisão em quatro Grupos, proposta por Cruz e França (2006).

Os Grupos um e dois, emergentes a partir de aquíferos de altitude englobam águas bicarbonatadas frias, termais e hipertermais, estas últimas relacionadas com fumarolas de pH básico cuja evolução (deslocamento do equilíbrio químico no sentido da reacção directa) se deve à interacção água - rocha, à absorção de voláteis vulcânicos, de que se destaca o CO_2 e à mistura de fluidos hidrotermais. Esta

evolução explica as relações lineares existentes entre a temperatura e o teor de SiO_2, entre o teor de HCO_3^- e o teor de SiO_2 e entre a condutividade e o teor de HCO_3^-.

O Grupo três é constituído por águas de fumarolas, dominadas pelo ião SO_4^{2-}, com pH muito baixo, fruto do processo de aquecimento por vapor que explica a relação linear entre a condutividade eléctrica e o teor de SO_4^{2-}, e entre os teores de Cl^- e SO_4^{2-}.

O Grupo quatro abrange águas frias e termais emergentes de aquíferos de base cuja composição química é modificada por mistura de sais marinhos, influência que é particularmente comprovada pelas relações lineares estabelecidas entre a condutividade eléctrica e o teor Cl^-, entre os teores de Na^+ e de Cl^- e pela independência entre as concentrações de HCO_3^- e SiO_2 e entre os teores de Cl^- e SO_4^{2-}.

6.8.1 | *PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA - MINERAL WATER OCCURRENCE AND GEOCHEMISTRY IN THE AZORES ARCHIPELAGO (PORTUGAL): INSIGHT FROM AN EXTENDED DATABASE ON WATER CHEMISTRY*

Mineral water occurrence and geochemistry in the Azores archipelago (Portugal): insight from an extended database on water chemistry

Freire, P, C Andrade, F Viveiros, C Silva, R Coutinho, JV Cruz

SUBMITTED

ABSTRACT

The occurrence and geochemistry of mineral waters in the Azores (Portugal) have been studied. Due to the volcanic nature of the archipelago, mineral water discharges occurs in seven of the nine islands, namely at São Miguel, Terceira, São Jorge, Pico, Faial, Graciosa and Flores, both associated to perched-water and basal aquifers, and mainly corresponding to springs (72.4%). The majority of the 116 discharges with water geochemistry data occurs in São Miguel island (73.3%).

Water temperature range between 13.2ºC and 99.8ºC (average=37.1ºC), being 63.8% of the samples in the dataset classified as thermal. Waters are mainly acid to slightly alkaline, with pH values range between 2.1 and 7.9 (average=5.85). Despite the wide range of electrical conductivity values (122-53000 μS/cm), the median value (876 μS/cm) suggests that in general waters in the dataset are poorly mineralized, being mainly from the Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl types, besides a few samples are from Na-SO_4 and Na-SO_4-HCO_3 types. Instead, waters abstracted in basal aquifers are mainly from the Na-Cl type.

Principal component analysis, as well as a classic hydrogeochemistry approach, suggests that mineral water chemistry evolves as function of several processes, as silicate weathering, enhanced by water temperature, not excluding mixing mechanisms between cold and hot waters. Regarding the SO_4-rich thermal waters steam-heating inputs are also to be considered. Dilution of volcanic CO_2 may also influence the chemical evolution of mineral waters. The influence of seawater over the mineral water chemistry in basal aquifers is shown by the much higher conductivity and Cl content.

1. INTRODUCTION

One of the hydrogeological features of active volcanic regions is the occurrence of numerous and geochemically diverse mineral water discharges, from cold carbonated springs to boiling pools in fumarolic fields. these waters have been worldwide developed as spas, or subject of

other types of application, as heat production for domestic and greenhouse end-users and power production, depending on the characteristics of the water itself and the hydrogeological setting.

The occurrence and geochemistry of mineral water in volcanic regions have been studied during volcano dormancy (Varekamp et al. 2001; Valentino and Stanzione 2003; Evans et al. 2006; Grassa et al. 2006; Minissale et al. 2007; D´Allessandro et al. 2008; Dotsika et al. 2009; Di Napoli et al. 2009; Joseph et al. 2011; Guo and Wang 2012) or in order to characterize hydrological and geochemical changes related to the onset of pre-eruptive and eruptive unrest (Shevenell and Goff 1993; Goff et al. 2000; Shibata et al. 2008). The detection of these changes is useful in what concerns volcanic surveillance (Oskarsson 1994) and several studies have been made on the subject (Martini et al. 1991; Bonfanti et al. 1996; Tassi et al. 2003; Valentino and Stanzione 2004; Federico et al. 2004; Eff-Darwich et al. 2008; Taran et al. 2008; De Gregorio et al. 2011).

The Azores archipelago is made of nine islands of volcanic nature, located in the North-Atlantic ocean, about 1500 km from Portugal mainland, between 37° to 40°N latitude and 25° to 31°W longitude. The archipelago has an area of 2333 km^2 and 246746 inhabitants (2011), mainly living at São Miguel (55.9 %) and Terceira (22.9%) islands. The islands are spread along a NW trending strip, about 600 km long, and lye in a complex geodynamic setting, near the triple junction between the American, African and Euroasian lithospheric plates.

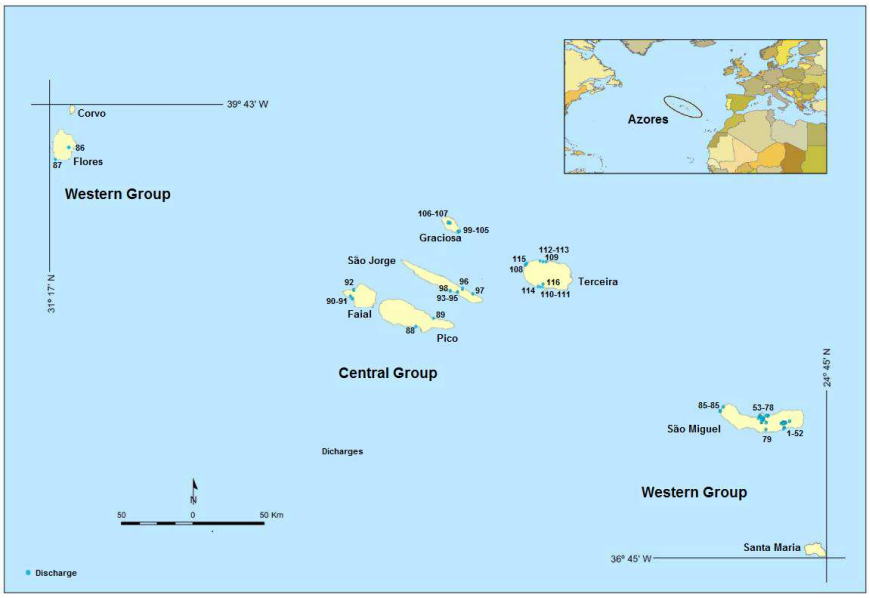


Figure 1 – Location of the studied mineral water discharges in the Azores archipelago (sample references according to the list presented in Table - supplementary electronic material).

Due to the volcanic nature of the archipelago, mineral water discharges occurs in seven of the nine islands, namely at São Miguel, Terceira, São Jorge, Pico, Faial, Graciosa and Flores, and the so-called HYDROVULC hydrogeochemical database was developed since 2005 (Costa

2006; Freire 2006; Cruz et al. 2010), nowadays comprising data on 116 discharges, both resulting from the collection of historical data and from new sampling and analytical effort.

Despite the early recognition of the value of these waters as a natural resource with a wide range of applications, being the well-known reputation of their therapeutic properties described since the year 1614, and the first water analysis published in 1791, in the last decades spas in the Azores have been, in general, unexploited. Nevertheless, several studies have been published (Bencini et al. 1982; Cruz et al. 1999, 2010; Cruz 2003; Cruz and França 2006; Carvalho et al. 2006, 2011; Morell et al 2008; Freire et al. 2013)

The objectives of the present paper is to (1) characterize a dataset on the occurrence of mineral water discharges in the Azores archipelago, and (2) discuss the main processes that control water chemistry through multivariate statistical methods and classic hydrogeochemistry data interpretation.

2. GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SETTING

2.1. Geology

The Azores archipelago is located near the triple junction between the American, African, and Eurasian plates. The geodynamic setting is complex and several main tectonic structures are observed in the Azores region (Pacheco et al., 2013).

Although all the islands have a volcanic origin, Santa Maria, the southeastern most and oldest island of the archipelago, aged about 8.12 Ma (Abdel-Monen et al. 1975), is the only one that features sedimentary rocks interbedded with volcanic deposits. The volcanic activity that originated the islands ranges from more effusive eruptions to highly explosive events. While Santa Maria, Pico and São Jorge are mainly formed by basaltic rocks, mainly lava flows and pyroclastic deposits originated from Hawaiian and Strombolian eruptions, other islands present more evolved products resulting from an extensive fractional crystallization of parental liquids in subsuperficial magmatic reservoirs , with material ranging from basalts to trachytes, as well as fall and flow deposits, e.g. pumice fall deposits, ignimbrites, other types of flow deposits and trachytic domes.

According to Weston (1964), Queiroz et al. (1995), Queiroz (1995) and Gaspar et al. (2004), since its settlement in the 15th century, about 30 eruptions have occurred, the last of which was a submarine event that occurred offshore Terceira island in 1998-2000.

2.2. Hydrogeology

Groundwater on the Azores islands can be found in two major aquifer systems: (1) basal aquifer systems, consisting on freshwater lenses floating over underlying saltwater and (2) perched-

water bodies (Cruz 2003, 2004). The basal aquifer systems are essentially located on the coastal area of the islands and tend to possess a very low hydraulic gradient. In some islands the basal aquifer system extends to bigger areas which correspond to low-altitude flatland. Perched-water bodies occupy pervious units and are confined by impermeable to very low permeability layers. The existence of flux between the perched-water bodies at altitude is expectable, with water ending at the basal aquifer.

Aquifers in both units occur mainly in fresh or weathered basaltic flows, where the more the more permeable elements correspond to clincker levels and coarse pyroclastic fall deposits.

The location of springs and drilled wells across the islands evidences some heterogeneity, mainly due to geomorphologic, hydrogeological and climatic constraints (Fig 2). Springs discharge from perched-water bodies on the volcano flanks and, according to Cruz and Amaral (2004), the highest spring density can be found on S. Maria (0.72 springs/km^2), while the lowest occurs at Pico (0.01 springs/km^2). Basal aquifers are exploited since the mid 1950's by means of drilled wells, in order to reinforce water supply of the islands, where the amount of spring water was insufficient, e.g. Pico or Graciosa. In these islands, groundwater abstraction relies almost exclusively on the basal aquifer system.

Specific well capacity values range between 1.40×10^{-2} L/s.m and 266.67 L/s.m, with a median of 32.29 L/s.m (Cruz 2004), with significant variability on the various islands. Pico and Graciosa, where wells yield from thin fresh and fractured young basaltic lava flows, frequently interbedded with clincker levels, correspond to the islands where the highest specific capacity is observed.

Average annual precipitation at the Azores is about 1930 mm, ranging between 966 mm/yr (Graciosa island) and 2647 mm/yr (Flores island), largely surmounting the average annual actual evapotranspiration (581 mm/yr; DROTRH-INAG 2001).

Recharge rates vary from 8.5% to 62.1% of the annual rainfall, with the higher values corresponding essentially to areas where the terrain is covered by recent basaltic lava flows and the soil is sparse, as it is the case of Pico, Terceira, Faial, São Miguel and Graciosa islands. Groundwater resource estimates indicate a total volume of about 1580×106 m^3/yr, ranging from 8.3×106 m^3/yr on Corvo to 582×106 m^3/yr on Pico (Cruz 2004). Values above the median of 101.3×106 m^3/yr are observed on São Miguel, São Jorge, Terceira, and Flores.

3. METHODOLOGY

A dataset on mineral water chemistry in the Azores archipelago was compiled, both resulting from specific sampling and analytical work developed for the present study (89.7% of the studied discharges), from 2005 to 2012, complemented by analyses collected in the literature

regarding springs which direct access was made impossible nowadays. In total, 104 mineral water discharges were sampled and analysed for the present paper, 93% of which from São Miguel island, 66.7% in Terceira, 100% in Graciosa, 33.3% in Faial, 50% in Pico, 66.7% in São Jorge and 100% in Flores island.

The final dataset is made of 116 mineral water discharges, mainly springs (72.4%), comparing to boiling pools (10.3%), hand-dug large diameter wells (1.7%) and drilled wells (15.5%). São Miguel island account for 73.3% of the overall number of analysis in the dataset. A reference list of the studied discharges is given in Table A (supplementary electronic material). Discharges are mainly associated to perched-water bodies, which account for 73.3% of the samples, comparing to basal aquifers (26.7%).

Main variable measurements (water temperature, pH and electrical conductivity), as well as dissolved CO_2 and alkalinity titrations, were conducted in the field with specific portable equipment. Methods for dissolved CO_2 and alkalinity titrations follow APHA-AWWA-WPCF (1985), the former by adding NaOH (1/44M) to a 100 mL aliquot until the pH reach a value of 8.3, and after the end-point multiply the final volume of titrant by 10, and the latter by adding H_2SO_4 (0.05M) until a pH end-point of 3.83 (4.45 in cold samples), and after multiply the titrant volume by 50.

Several analytical methods were applied, namely: atomic absorption spectrometry for major cation analysis, ionic chromatography anion determination, in both cases after sample filtration in the field through 0.45 μm filters and for the former method also following acidification with suprapur® nitric acid. Minor and trace elements were analysed by ICP-MS, following sampling filtration in the field (0.10 μm filters) and acidification with suprapur® nitric acid. Silica content was analysed by spectrophotometry, using the silicomolybdic method.

4. RESULTS

4.1. Data presentation

A summary of the chemical composition and main variables (pH, temperature, electrical conductivity) of the mineral waters in the dataset is given in Table 1.

Mineral waters in the dataset have temperatures in the range between 13.2ºC (sample 63) and 99.8ºC (sample 10), with average and median values respectively equal to 37.1ºC and 31.9ºC. Considering the criteria defined by Schoeller (1962), based in the relationship between water temperature (Tw) and the average air temperature (Tair), and a value equal to 17.5ºC for the latter, 22.4% of the samples can be classified as cold waters (Tw < Tair), 13.8% as ortothermal (Tair < Tw < Tair + 4ºC) and 63.8% as thermal waters (Tw > Tair + 4ºC). Comparing the

average mineral water temperature, is possible to show that the higher values corresponds to São Miguel (40.4ºC), Graciosa (37.9ºC) and Flores (37.6ºC) (Table 1).

Waters are mainly acid to slightly alkaline, with pH values in the range from 2.1 (sample 46) to 7.9 (sample 48), being the average and median values respectively equal to 5.85 and 5.95, both clearly in the acid range. Lower pH values, in the range between 2.09 and 3.13, are attained in boiling pools of São Miguel, namely samples with references 41, 46, 65, 66, 67 and 70. Average values for the several islands are always in the acid pH range, being lower than the archipelago average in São Miguel (5.64) (Table 1).

Despite the wide range of electrical conductivity values (122 - 53000 μS/cm), the median value (876 μS/cm) suggests that in general waters in the dataset have a low mineralization. Average value is equal to 4134 μS/cm, and all the samples that present higher conductivity comparing to the former value corresponds to springs and drilled wells in basal water bodies (samples 85, 90, 91, 92, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 106, 110, 111, 114), mainly located in São Miguel, Graciosa, Faial, and Terceira islands. As a result, average conductivity values are higher in Terceira (5944.9 μS/cm), Graciosa (23651.1 μS/cm) and Faial (7556.7 μS/cm), comparing to islands, as São Miguel (2004.8 μS/cm), São Jorge (424 μS/cm) and Flores (1299.0 μS/cm), where mineral water discharges mainly from perched-water bodies (Table 1).

From Fig. 2 is possible to show the main water types according the hydrogeological setting of the discharges. In São Miguel, discharges from perched-water bodies in altitude are mainly from the Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl types, besides a few samples are from Na-SO_4 to Na-SO_4-HCO_3 types (Fig. 2A). Mineral waters abstracted in wells in basal aquifers are mainly from the Na-Cl type (Fig. 2A). The predominance of Na-Cl type waters in the discharges from basal aquifers is also depicted by the Piper diagrams of Terceira (Fig. 2B), Graciosa (Fig. 2C), Faial (Fig. 2D) and Pico (Fig. 2F), as only in Flores island the so-called Lajedo spring presents a Na-HCO_3 type (Fig. 2E).

The main cation in solution (Na) ranges in the dataset between 14.47 mg/L and 15944.4 mg/L, being the average value equal to 740.67 mg/L (Table 1). Nevertheless, the median Na content (82.85 mg/L) suggests that the much higher average values is controlled by mixture with seawater in basal water bodies.

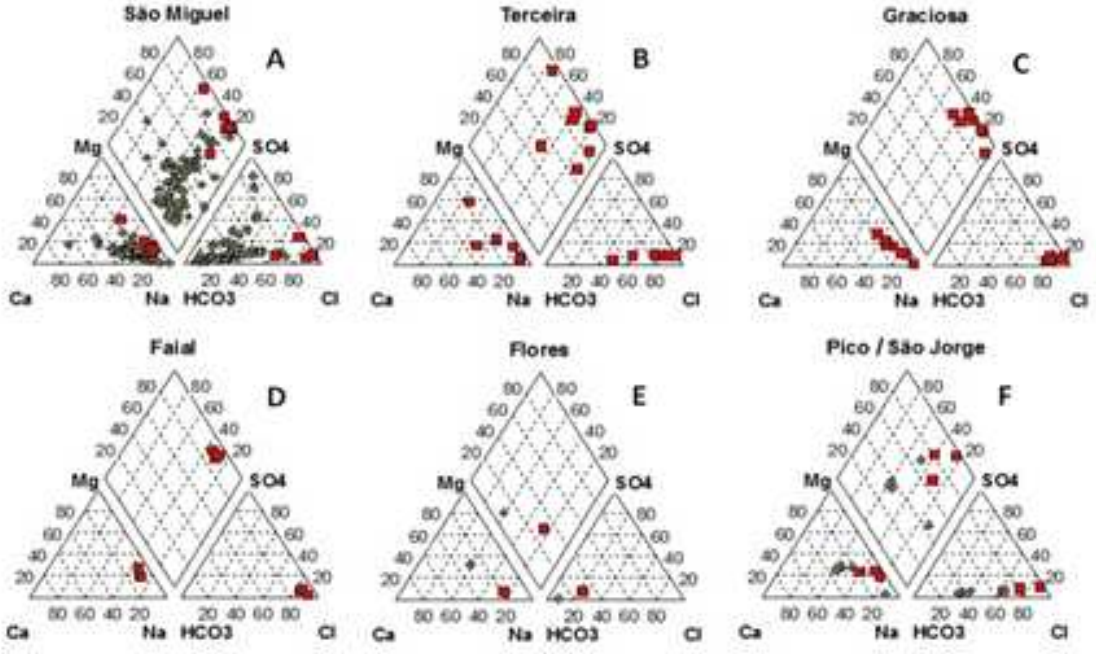


Figure 2 - Major-ion relative composition represented by means of a Piper-type diagram for the several mineral water discharges by island (circles - perched-water bodies; red squares - basal water bodies).

Table 1 - Mineral water chemical data statistics: main variables (temperature, pH, electrical conductivity, dissolved CO_2), major-ion composition and SiO_2, Fe and Al content. Island reference: SM - São Miguel, TE - Terceira, SJ - São Jorge, GR - Graciosa, PI - Pico, FA - Faial, FL - Flores. n.d. - value not determined.

Island	Statistics	T (ºC)	pH	Cond (µS/cm)	CO2 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	NO_3 (mg/L)	F (mg/L)	SiO_2 (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
SM	Min.	13.20	2.09	122.00	2.90	14.47	1.93	1.66	0.13	10.30	3.26	14.00	0.54	0.09	41.80	0.01	0.009
	Max.	99.80	7.90	34300.00	1264.20	6676.70	541.60	532.60	852.80	12638.00	1994.54	1133.00	42.05	21.41	433.11	16.00	1.260
	Average	40.35	5.64	2004.83	412.83	384.83	38.15	47.31	43.90	683.70	151.17	316.95	4.98	2.42	140.23	0.89	0.284
	Median	36.05	5.85	501.00	368.00	53.94	20.28	16.64	3.63	41.04	12.90	224.50	2.42	1.29	129.69	0.22	0.147
TE	Min.	14.80	5.75	401.00	2.00	69.23	0.40	2.54	2.99	75.45	13.00	34.16	8.74	0.44	48.67	0.02	0.011
	Max.	38.30	7.87	17200.00	581.00	2777.20	148.70	222.35	501.15	6514.38	816.33	671.00	26.62	3.60	140.50	1.03	1.840
	Average	21.61	6.68	5944.88	129.97	679.69	38.81	88.35	137.29	1813.51	255.53	251.01	18.46	2.29	70.21	0.29	0.322
	Median	20.85	6.67	3291.00	41.70	314.67	14.01	72.14	63.09	480.32	123.02	150.36	20.25	2.84	63.52	0.15	0.022
SJ	Min.	14.40	5.17	190.00	2.70	17.44	1.47	3.60	0.70	19.78	2.80	62.20	0.59	0.02	37.46	0.04	0.041
	Max.	22.30	7.70	1116.00	2407.00	127.57	5.42	32.00	26.11	256.00	35.37	146.40	8.68	1.00	97.20	0.24	0.197
	Average	16.48	5.88	424.00	606.48	52.89	2.47	17.01	11.80	87.51	11.79	88.75	4.63	0.51	61.53	0.14	0.103
	Median	14.60	5.52	195.00	269.50	29.98	1.50	12.43	6.05	24.18	4.45	74.10	4.63	0.51	53.43	0.10	0.087
GR	Min.	25.30	4.79	3620.00	4.50	231.00	19.00	22.00	13.30	1175.72	1.90	12.20	---	n.d.	26.05	0.08	0.035
	Max.	56.20	7.14	53000.00	1175.40	15944.40	639.40	848.60	1060.80	20588.52	2381.56	1097.70	23.10	n.d.	172.12	12.10	0.299
	Average	37.88	6.49	23651.11	274.78	4607.28	228.64	396.34	426.89	10345.10	884.06	629.56	---	n.d.	97.61	2.90	0.126
	Median	38.00	6.59	13100.00	185.00	2500.00	112.05	277.60	308.00	9635.40	460.00	754.00	---	n.d.	103.13	1.06	0.044
PI	Min.	15.8	6.35	1705.00	125.00	274.31	31.40	19.61	49.61	356.64	45.47	84.80	---	---	3.00	---	0.330
	Max.	16.0	6.86	3980.00	125.00	731.40	33.73	44.50	95.20	1317.00	184.50	307.40	3.11	0.30	56.23	0.13	0.330
	Average	15.90	6.61	2842.50	125.00	502.86	32.57	32.06	72.41	836.82	114.99	196.10	---	---	45.62	---	0.330
	Median	15.90	6.61	2842.50	125.00	502.86	32.57	32.06	72.41	836.82	114.99	196.10	---	---	45.62	---	0.330

FA	**Min.**	18.00	6.05	6060.00	142.50	794.80	35.15	77.00	152.33	1696.25	95.94	274.50	n.d.	n.d.	78.94	0.16	0.035
	Max.	37.60	6.39	9440.00	199.00	1696.50	71.80	194.70	234.50	3337.00	195.26	422.70	n.d.	n.d.	111.42	9.17	0.040
	Average	25.47	6.20	7556.67	178.63	1174.03	52.42	133.28	187.54	2368.70	160.74	367.41	n.d.	n.d.	93.71	4.67	0.038
	Median	20.80	6.17	7170.00	194.40	1030.80	50.30	128.15	175.80	2072.85	191.01	405.04	n.d.	n.d.	90.76	4.67	0.038
FL	**Min.**	24.60	6.77	1243	60.50	115.30	6.39	52.12	12.16	41.98	5.78	607.00	n.d.	0.06	88.74	0.27	0.028
	Max.	50.70	6.82	1355	72.00	247.85	28.46	76.01	51.14	114.44	51.20	796.00	n.d.	5.14	99.11	0.47	0.057
	Average	37.65	6.80	1299.00	66.25	181.58	17.43	64.07	31.65	78.21	28.49	701.50	n.d.	2.60	93.93	0.37	0.043
	Median	37.65	6.80	1299.00	66.25	181.58	17.43	64.07	31.65	78.21	28.49	701.50	n.d.	2.60	93.93	0.37	0.043
AZORES	**Min.**	13,20	2,09	122,00	2,00	14,47	0,40	1,66	0,13	10,30	1,90	12,20	0,54	0,02	26,05	0.01	0.009
	Max.	99,80	7,90	53000,00	2407,00	15944,40	639,40	848,60	1060,8	20588,52	2381,56	1133,00	42,05	21,41	433,11	16.00	1.840
	Average	37,07	5,85	4139,36	378,16	740,67	52,27	78,44	83,41	1455,92	206,48	331,59	6,80	2,33	124,25	1.04	0.264
	Median	31,90	5,95	876,00	245,10	82,85	20,75	20,61	6,18	58,47	19,85	224,50	3,22	1,24	113,62	0.22	0.103

The influence of seawater over the groundwater chemistry in basal aquifers in the Azores was already discussed in what concerns water quality, causing water supply constrains and economic losses (Cruz and Silva 2000, Cruz et al. 2011). For the group of higher condutivity samples above mentioned, Cl content ranges between 1696.25 mg/L and 20588.5 mg/L, being the average value in the dataset equal to 1455.9 mg/L (Table 1).

Bicarbonate content ranges between 12.2 mg/L and 1133 mg/L, with an average value equal to 331.59 mg/L (Table 1). Higher average values are observed in São Miguel (316.95 mg/L), Graciosa (629.56 mg/L) Faial (367.41 mg/L) and Flores (701.50 mg/L).

4.2. Principal component analysis

Statistical methods are usually useful in order to deduce cause-effect relationships from a water chemistry dataset (Drever 1982), and multivariate analysis techniques have been applied in a large range of studies made in diverse geological and hydrogeological settings (Meng and Maynard 2001; Swanson et al. 2001; Papatheodorou et al. 2007; Jang 2010), a few of which concerning surface and groundwater composition in the Azores archipelago (Cruz and Amaral 2004; Cruz and França 2006; Cruz et al. 2006). Nevertheless, multivariate statistical methods not replace conventional hydrogeochemical interpretation, thus being a supplementary tool to the latter (Love et al. 2004).

Principal component analysis (PCA) was applied to a dataset of 94 mineral water compositions and 18 variables selected from Table A (supplementary electronic material), excluding samples which analysis are not complete regarding the variables used in PCA. Hydrogeological setting was added to the hydrochemical dataset, regarding both the type of aquifer (Taq; 1 – perched-water bodies; 2 – basal aquifers) and the type of the discharge (Tpa; 1 – spring; 2 – wells; 3 – boiling pools). From these 94 rows of observations by 18 columns of variables, PCA may reveal the underlying structure of the dataset through the eigenvectors (Davis 1986). For that purpose,

the software SPSS vs.16.0 was used, and the percentage of the variance explained by the eigenvectors 1 to 5 after rotation, accounting for 83.4% of the total, is shown in Table 2. Previously to the PCA, the Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy and the Bartlett sphericity test were made, in both cases showing the applicability of the principal component analysis.

Table 2 - Results from the principal component analysis for eigenvectors 1 to 5 after rotation.

Eigenvector No.	Eigenvalue	Cumulative variation (%)
1	8.448	42.24
2	2.553	55.00
3	2.187	65.94
4	1.897	75.42
5	1.653	83.69

The scores of each variable according to the main eigenvectors are shown in Fig. 3. PC1 is interpreted as representing the overall increase in water mineralization due to mixing with seawater, also explaining the moderate positive scores associated to Taq and Tpa variables (Fig. 3A). This process also explain the position of samples 81, 83, 85, 100, 102, 103, 104 and 108 in the plot that represent the scores of variables and samples onto the principal component axis (Fig. 4A).

The HCO_3 and SiO_2 content essentially dominate principal component 2, with moderate positive loadings of the water temperature, pH and Li, and a negative moderate score of Tpa (Fig. 3B). This vector represents the neutralization of CO_2 through water-rock interaction, explaining the increase of HCO_3 and pH, a process that is enhanced by the water temperature, and the negative Tpa loading suggests that this process is associated to thermal springs.

Silicate weathering can be considered the most important type of hydrogeochemical reaction in volcanic aquifers, contributing alkali metals or alkali-earth metals from more or less chemically evolved rocks, while neutralizing fluid acidity and releasing HCO_3 (Evans et al. 2002). The Na-HCO_3 type waters observed in the perched-water bodies (Fig. 2) result from silicate leaching and are commonly observed in the periphery of geothermal fields and are typical of early stages of interaction between meteoric water and rocks (Cioni et al. 1992; Chiodini et al. 1996; Lewicki et al. 2000).

PC4 also reflects a geochemical evolution dominated by water-rock interaction, as is essentially a temperature-SiO_2 vector, but as Tpa also depict a high positive loading, this component is interpreted as being associated to the higher temperature waters occurring in boiling pools from fumarolic fields (Fig. 3D). The scores of the boiling pools in the PC1 vs. PC4 plot also reflect

this assumption, where a trend is depicted along PC4 axis by samples 10, 15, 36, 37, 40 and 43 (Fig. 4C).

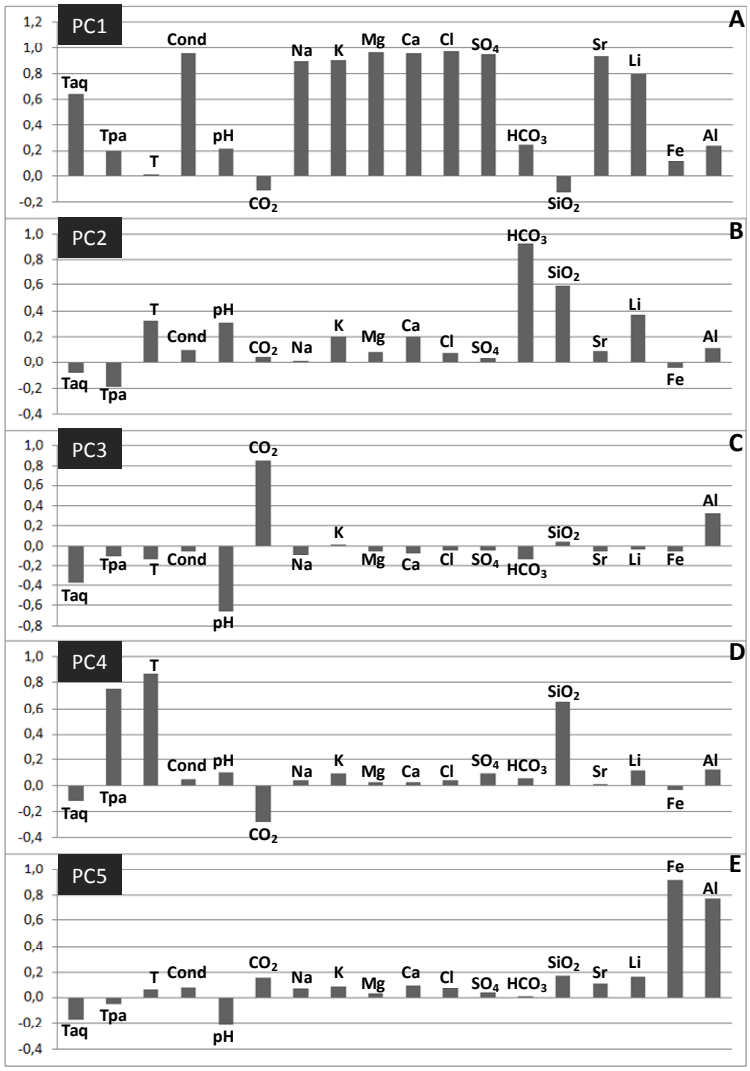


Figure 3 - Diagrammatic representation of scores for variables according the main eignevectors.

The variables loading along PC3 shows that this component is mainly associated to the dissolved CO_2, and moderately to Al. The negative scores of pH and Taq suggest that this component is associated to the dissolution of CO_2, mainly in perched-water bodies, lowering the pH, which may also increase the solubility of Al. This process can be associated to a magmatic source that provides CO_2-rich vapors to perched-aquifers, as shown by δ13C data (Cruz et al. 1999), and is mainly represented by cold CO_2-rich waters (samples 4, 5, 6, 38, 50, 108), which depict an increasing trend along the PC3 axis in the plot of scores in the PC1 vs. PC3 field (Fig. 4B) as well as a PCO_2 in the range between 10-0.00 to 10-0.43 atm. These latter values, calculated using PHREEQC geochemical modelling software (Parkhurst and Appelo, 1999), are

higher than the average groundwater composition discharging from perched-water bodies in the Azores (10-2.30 atm; Cruz and Amaral 2004).

PC5 is essentially a Fe-Al component, representing some Fe-rich acid spring waters that discharge from perched-water bodies (Fig. 3E).

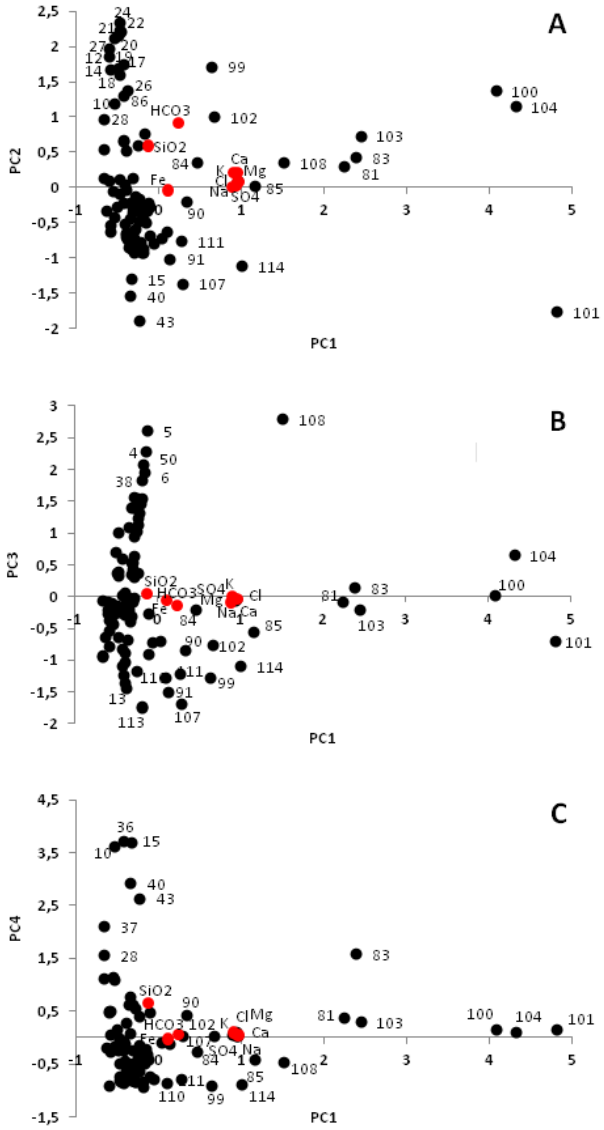


Figure 4 - Principal component analysis results represented as function of scores and variables along the main axis (A - PC1 vs. PC2; B - PC1 vs. PC3; C - PC1 vs. PC3).

5. DISCUSSION

The principal component analysis results points out to several main geochemical processes that control main water chemistry, that are corroborated by classic hydrogeochemistry data interpretation as follows.

The relationship between the electrical conductivity of the waters, thus representing the overall dissolved solids content, depict in general high correlation coefficients regarding Na (r=0.930), K (r=0.920), Mg (r=0.908), Ca (r=0.854) and Cl (r= 0.979) (Fig. 5A to Fig. 5E). Lower correlation coefficients are attained in the case of HCO3 (r=0.355; Fig. 5F) and SO4 (r=0.622; Fig. 5G).

The higher correlation coefficients suggest the contribution of silicate dissolution in controlling water chemistry. The weaker relationship with HCO_3, lower than the expected considering only acid neutralization through silicate weathering, is suggested to be due to a dilution effect by seawater addition. In fact, in Fig. 5F, two trends are depicted, one represented by the samples with lower conductivity, showing a linear increase of both variables, and other represented by a group of samples of higher conductivity, which shows not a such clear linear positive relationship. From the plot is also possible to show that the latter group is made of samples with the highest Cl content (Fig. 5E). Nevertheless, the HCO_3 content in these higher mineralized waters, influenced by a marine end-member, is higher comparing to the expected values considering only a binary conservative mixing model between seawater and freshwater.

The same effect is also depicted by the conductivity vs. SiO_2 plot (Fig. 5I), where the samples with higher conductivity, thus higher Cl content, present relatively low SiO_2 content comparing to the group of samples with lower conductivity. The latter shows a clear linear positive relationship between both variables, suggesting being due to silicate weathering.

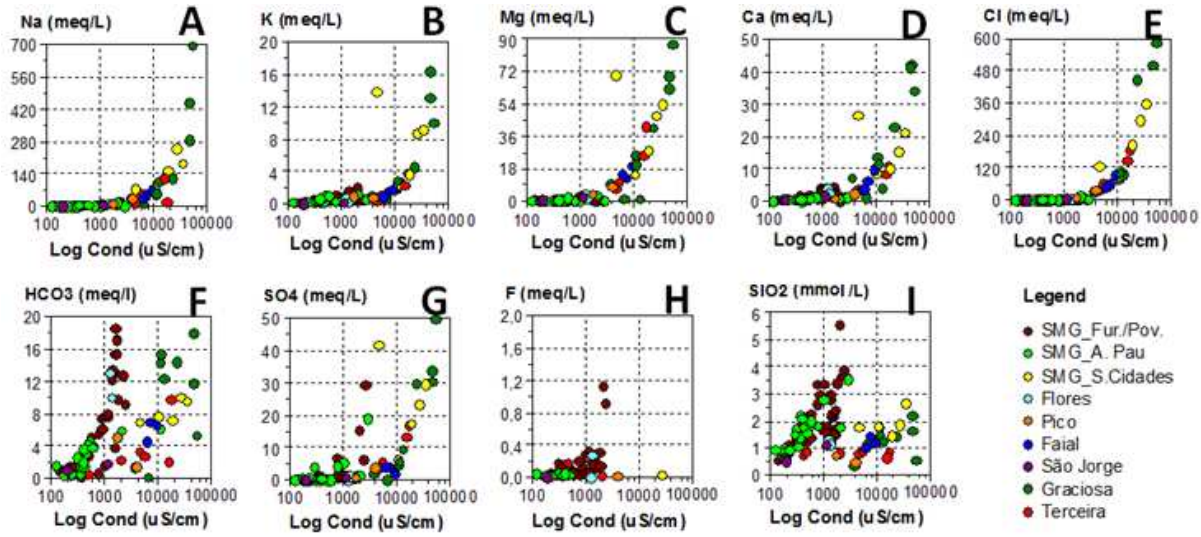


Figure 5 - Relationship between electrical conductivity and major-ion and SiO_2 content.

The application of the Na/1000-K/100-Mg1/2, proposed by Giggenbach (1988), shows that in general the majority of the thermal waters fall near the Mg1/2 corner, thus suggesting to be immature waters (Fig. 6). Therefore, the application of geothermometers is not validated, as only samples 10, 36 and 105 are closer to the thermal-chemical equilibrium line, suggesting for the former samples, both inside the Furnas volcano caldera (São Miguel island), reservoir

temperatures in the range between 160ºC to 200ºC. Sample 105, from Graciosa island, suggests an equilibration temperature of about 140ºC. As shown by Cruz and França (2006), mineral waters have a meteoric origin, suggesting that the absence of equilibrium is the result of short residence time. The occurrence of mixing processes between cold and thermal waters may also explain the absence of equilibrium.

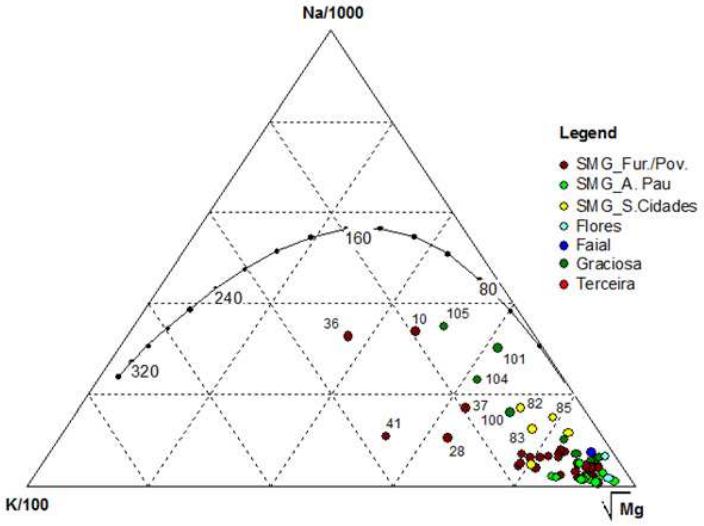


Figure 6 - Na/1000–K/100–$Mg^{1/2}$ ternary diagram (Giggenbach, 1988) for thermal waters in the dataset.

The contribution of silicate weathering to water chemistry is shown by the water temperature vs SiO_2 plot, which depicts a close linear relationship (r=0.786), thus reflecting that the former variable controls silica solubility y enhancing water-rock interaction (Fig. 7). Nevertheless, SiO_2 solubility is also controlled by the oversaturation of the majority of the samples regarding chalcedony and quartz (Fig. 8).

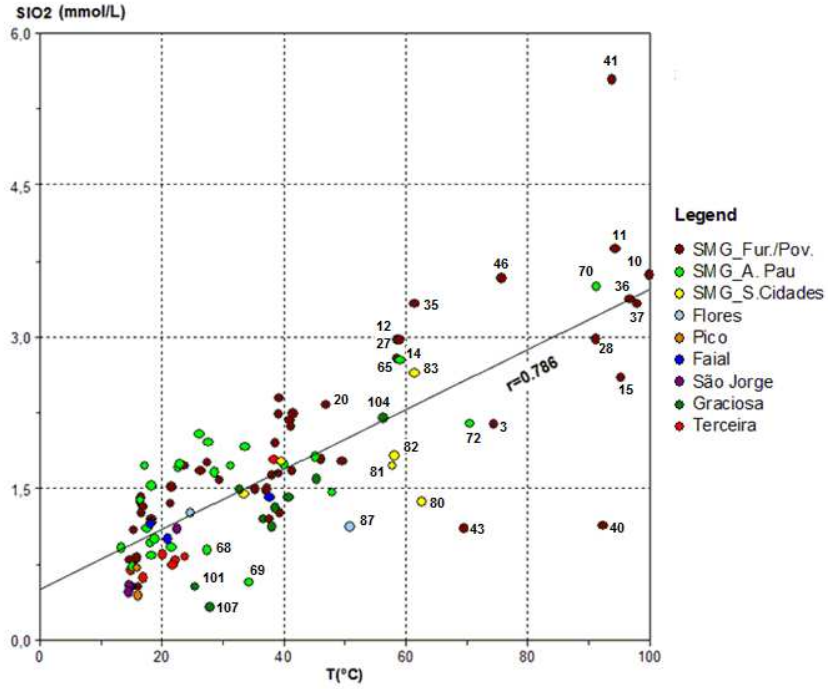


Figure 7 - Relationship between mineral water temperature and SiO_2 content (in mmol/L).

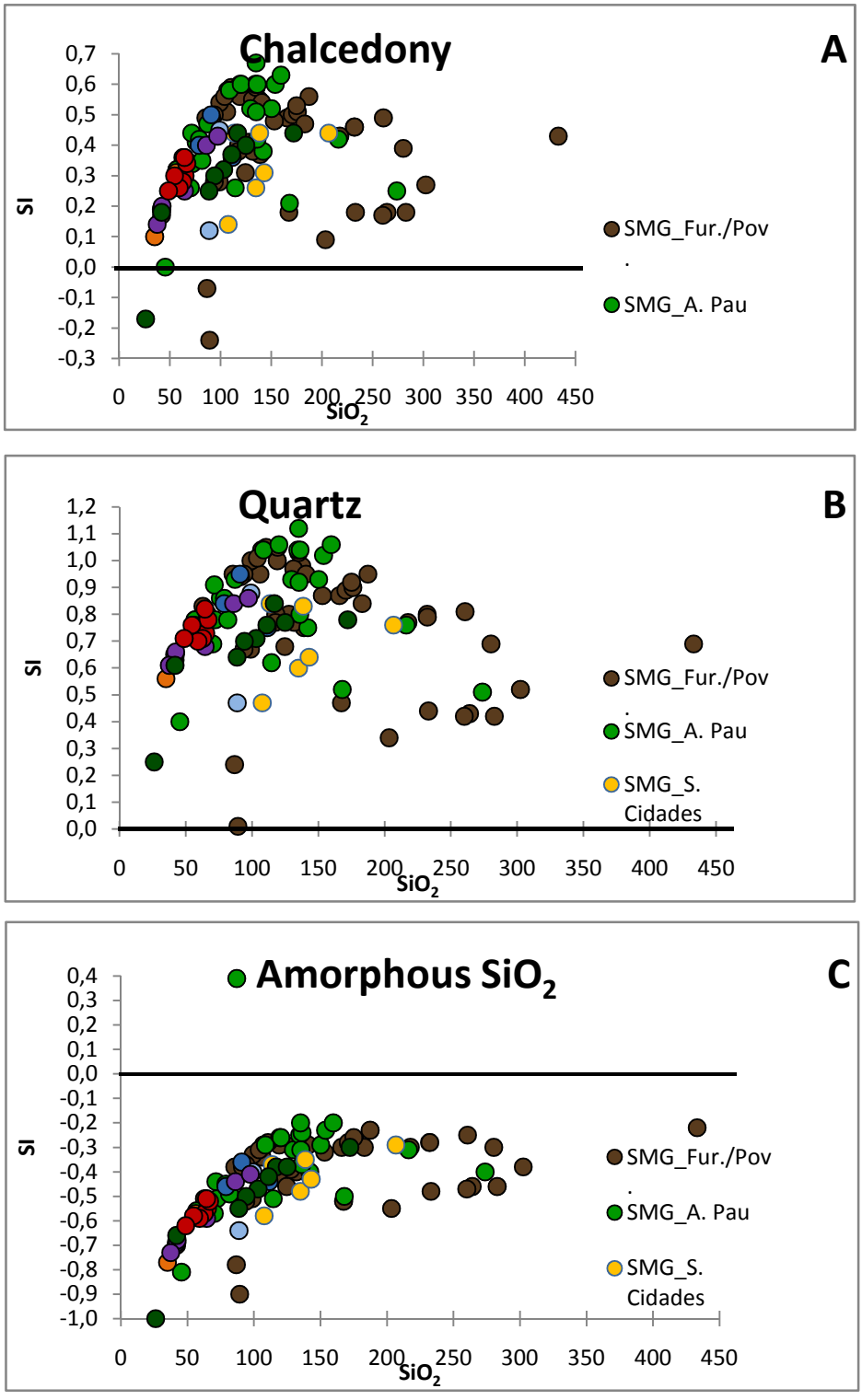


Figure 8 - Saturation status regarding SiO_2 solid phases calculated using PHREEQC software (A - chalcedony, B - Quartz and C - amorphous SiO_2).

Besides adding SiO_2 to water, silicate weathering is expected to contribute with HCO3, through acid neutralization. Nevertheless, the SiO_2 vs. HCO_3 plot shows a weak linear relationship (r=0.450), that, despite the influence of the above mentioned oversaturation, may also be influenced by the dilution of volcanic CO_2, trend represented by samples 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 99, 100, 102, 103 in the plot, lowering the pH and enhancing acid neutralization through

weathering (Fig. 9). The majority of the waters are undersaturated in calcite, thus reflecting the low Ca dissolved and not affecting also the HCO_3 content. Several cold carbonated waters discharge in the Azores (samples 4, 6, 5, 29, 34, 38, 51, 53, 54, 55, 56, 60), mainly in Fogo and Furnas volcanoes (São Miguel island), being also influenced by volcanic CO_2 input. Nevertheless, the low electrical conductivity (165-360 µS/cm) suggests a short residence time, thus limiting acid neutralization, reflected in the HCO_3 (34.2-169 mg HCO_3/L) and SiO_2 (56.9-110.5 mg HCO_3/L) content.

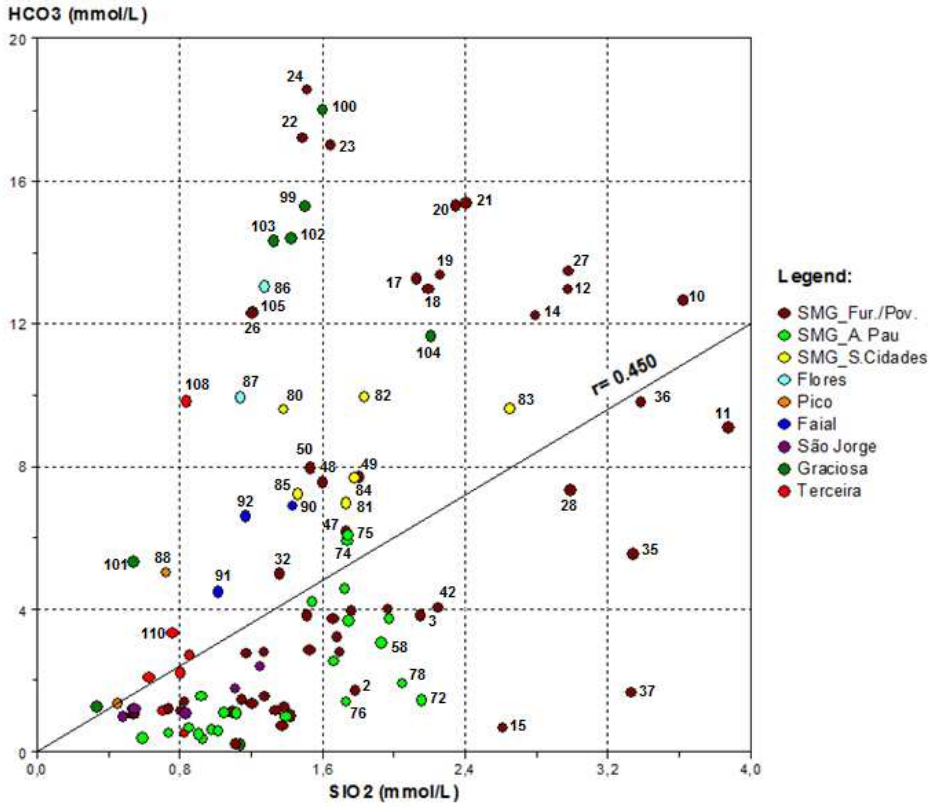


Figure 9 - SiO_2 (in mmol/L) vs. HCO_3 (in mmol/L) plot for the mineral waters in the dataset.

The close relationship between alkali and alkali earth metals (r=0.868) is also influenced by silicate weathering (Fig. 10). Sodium content is also controlled by sea salts input, both resulting from seawater spraying, that influence groundwater chemistry in perched-water bodies (Cruz and Amaral 2004; Cruz et al. 2013), and intrusion in basal aquifers. This marine contribution explain the close relationship between Na and Cl (r=0.913), and the majority of the samples are plotted close to the seawater line (Fig. 11).

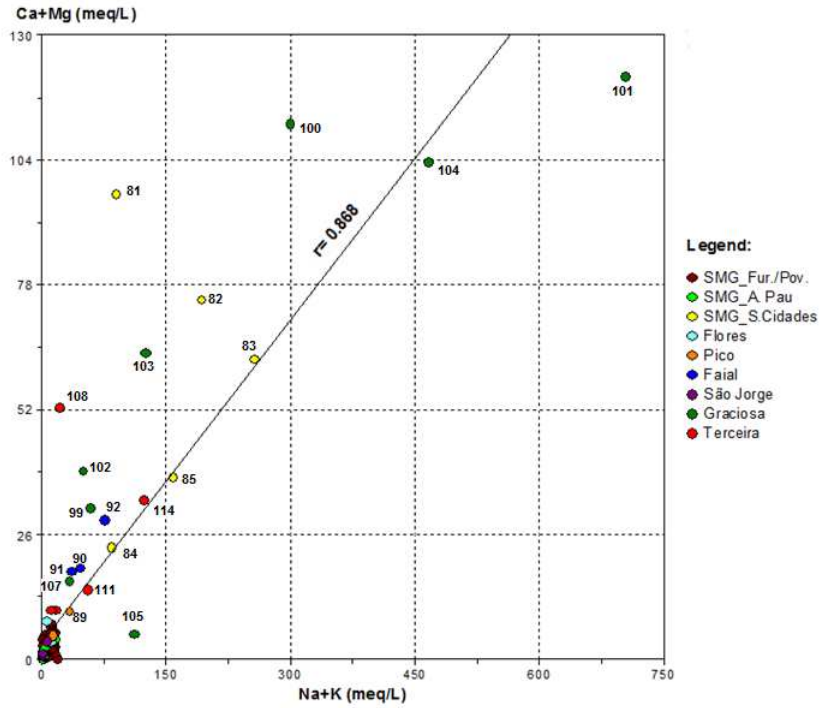


Figure 10 - Na+K (in meq/L) vs. Ca+Mg (in meq/L) plot for the mineral waters in the dataset.

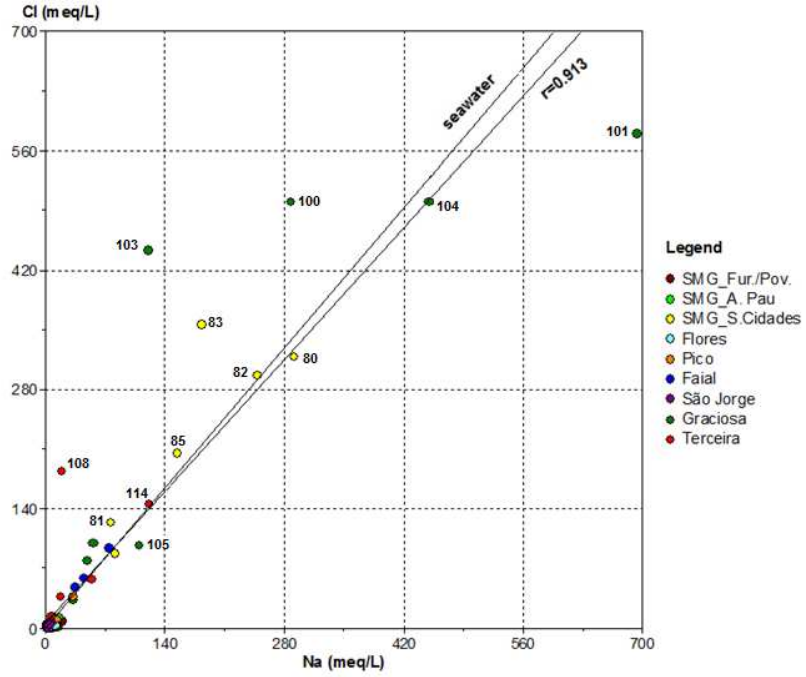


Figure 11 - Na (in meq/L) vs. Cl (in meq/L) plot for the mineral waters in the dataset. Data for seawater composition is from Cruz (1997).

Some samples (15, 41, 70, 46), depict a SO_4-enrichment independently of a marine source, as shown by the associated lower Cl content (Fig. 12), suggested to represent a steam-heating process, compatible with the low pH values of those samples from boiling pools as already mentioned above. The high-SO_4 content in those acid steam-heated waters results from oxidation of reduced sulfur species, corresponding to a common process in other active volcanic regions (Nordstrom et al. 2009; Varekamp et al. 2009). Nevertheless, in the Cl and SO_4 plot a

close linear relationship (r=0.858) is depicted, and the majority of the samples are close to the seawater line, thus representing the marine contribution.

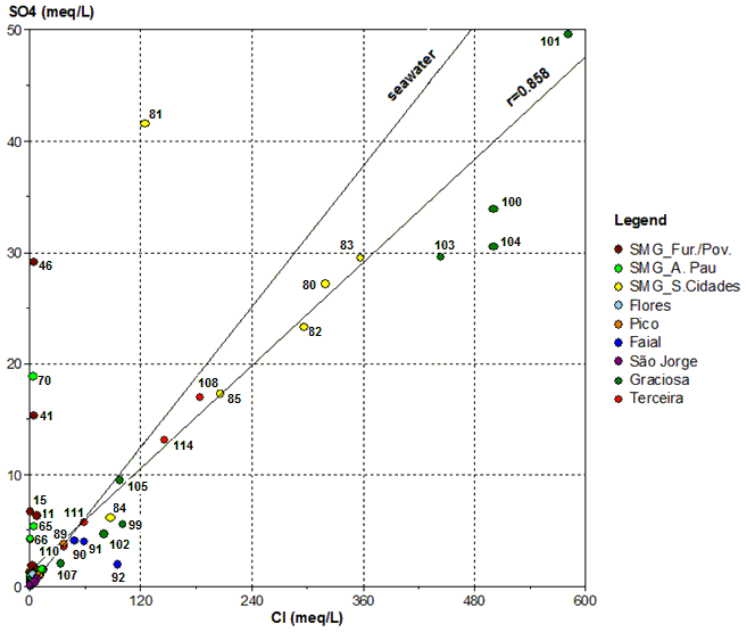


Figure 12 - Cl (in meq/L) vs. SO_4 (in meq/L) plot for the mineral waters in the dataset. Data for seawater composition is from Cruz (1997).

Fluoride content range between 0.54 mg/L (sample 13) and 21.44 mg/L (sample 10), both in Furnas volcano (São Miguel island), being the average value in the dataset equal to 2.33 mg/L (Table 1). In São Miguel island, Cordeiro et al. (2012) have shown that for the F-richer waters fluoride content is clearly associated to Na, suggesting a common origin by silicate weathering in trachytic aquifers (Fig. 13A and 13B).

Fluoride may have a source on the leaching of volcanic glass in pyroclastic deposits of acid nature (Martínez et al. 2012), despite the contribution from other solid phases as amphiboles and biotite (Edmunds and Smedley 2004), which based on island volcanic geology may explain that average values in São Miguel (2.42 mg F/L) and Terceira (2.29 mg F/L) are much higher comparing to values observed in São Jorge (0.51 mg F/L) and Pico (0.30 mg F/L).

The occurrence of a weaker linear relationship in the Ca vs F plot (Fig. 13B) cannot be explained by oversaturation on fluorite, as the majority of the samples are undersaturated regarding this solid phase (Fig. 14). Nevertheless, as described in other studies, in the presence of fluorite the concentration of F is inversely proportional to Ca content (Edmunds and Smedley 2004), and from Fig. 13B a similar trend is depicted for samples with a F content higher than 1.5 mg F/L.

The higher F contents are observed in samples 10 (21.42 mg F/L) and 11 (17.44 mg F/L), both boiling pools in fumarolic fields, and in these cases, besides the silicate weathering

enhancement due to the higher water temperature (Fig. 7), the F-enrichment can be also associated to hydrothermal activity (Nordstrom and Jenne 1977).

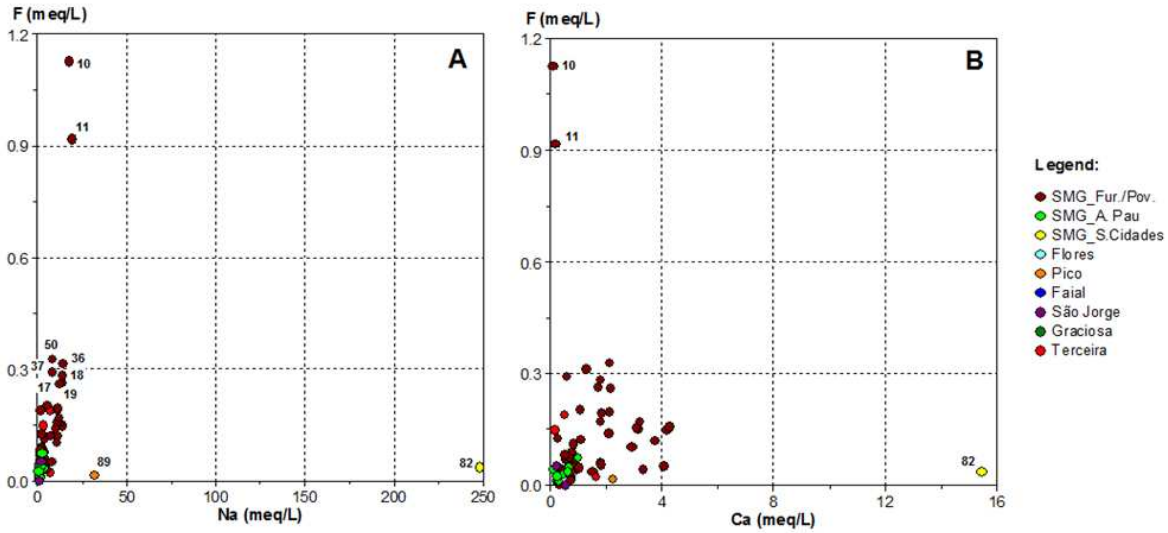


Figure 13 - Na (in meq/L) vs. F (in meq/L) and Ca (in meq/L) vs. F (in meq/L) plots for the mineral waters in the dataset (A and B respectively).

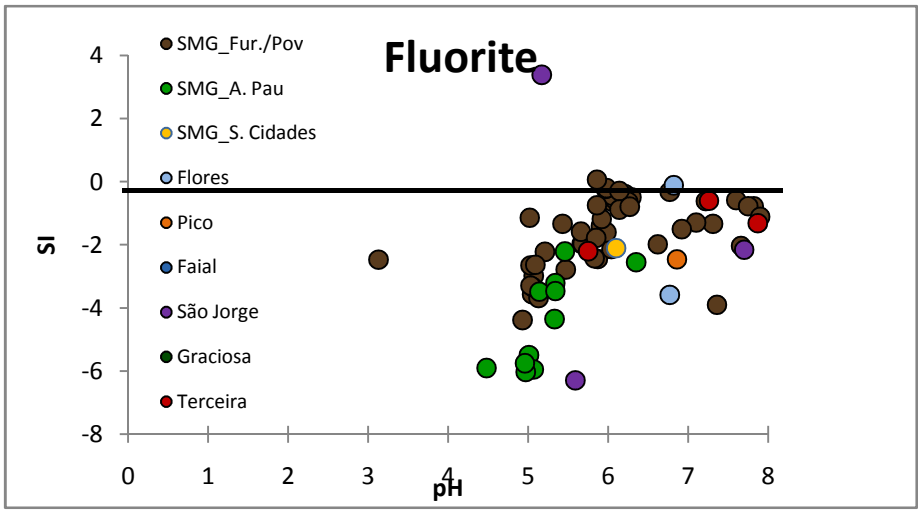


Figure 14 - Saturation status regarding fluorite calculated using PHREEQC software.

6. CONCLUSIONS

The occurrence and geochemistry of mineral waters in the Azores (Portugal) have been studied, based on a data set made of 116 discharges from São Miguel, Terceira, São Jorge, Pico, Faial, Graciosa and Flores islands, mainly (72.4%). The former, as the boiling pools, discharge mainly from perched-water bodies in altitude, instead several hand-dug large diameter wells (1.7%) and drilled wells (15.5%) are installed in basal aquifers. The majority of the 116 discharges with water geochemistry data occurs in São Miguel island (73.3%).

Mineral waters are generally poorly mineralized, despite some discharges from basal aquifers presenting very high values of electrical conductivity and Cl content, thus reflecting a marine influence, and the main water types in discharges from perched-water bodies are the Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl, besides a few samples are from Na-SO_4 and Na-SO_4-HCO_3 types. Due to mixture with seawater, mineral waters abstracted in wells in basal aquifers are mainly from the Na-Cl type.

The composition of the mineral waters is modified by several processes, as silicate weathering, enhanced by water temperature, which ranges between 13.2ºC and 99.8ºC, being 63.8% of the samples in the dataset classified as thermal. The Na-SO_4 and Na-SO_4-HCO_3 type waters, corresponding to boiling pools, are also influenced by steam heating, which explain also the marked acidic character. Cold carbonated waters with low conductivity represent the dilution of volcanic CO_2.

Statistical methods were also applied, namely principal component analysis, and the results allow to deduce the same cause-effect relationships that control mineral water chemistry evolution.

Nowadays, and despite the high number of mineral water discharges, mainly located in São Miguel, hydromineral resources are still underdeveloped. Therefore, the results of the present study are useful, and this study publishes the most extensive dataset on mineral waters in the Azores archipelago.

ACKNOWLEDGMENTS

P. Freire is grateful to Fundo Regional da Ciência e Tecnologia (Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos) for the funding of project M3.1.2/F/017/2008.

REFERENCES

Abdel-Monen A, Fernandez L, Boone G (1975) K/Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands. Lithos 4:247-254.

APHA-AWWA-WPCF (1985) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington.

Bencini A, Martini M, Piccardi G (1982) New investigations on thermal manifestations of S.Miguel (Azores). Arquipélago 3:301-312.

Bonfanti P, D´Alessandro W, Dongarrà G, Parello F, Valenza M (1996) Medium term anomalies in groundwater temperature before 1991-1993 Mt. Etna eruption. J Volcanol Geotherm Res 73:303-308.

Carvalho MR, Forjaz VH, Almeida C (2006) Chemical composition of deep hydrothermal fluids in the Ribeira Grande geothermal field (São Miguel, Azores). J Volcanol Geotherm Res 156:116-134.

Carvalho MR, Mateus A, Nunes JC, Carvalho JM (2011) Chemistry of the Ferraria thermal water, S. Miguel Island, Azores: mixing and precipitation processes. Environ Earth Sci 64:539-547.

Chiodini G, Cioni R, Frullani A, Guidi M, Marini L, Prati F, Raco B (1996) Fluid geochemistry of Montserrat Island, West Indies. Bull Volcanol 58:380-392.

Cioni R, Fanelli G, Guidi M, Kinyariro JK, Marini L (1992) Lake Bogoria hot springs (Kenya): geochemical features and geothermal implications. J Volcanol Geotherm Res 50:231-246.

Cordeiro S, Coutinho R, Cruz JV (2012) Fluoride content in drinking water supply in São Miguel volcanic island (Azores, Portugal). Sci Total Environ 432:23–36.

Costa A (2006) Atlas hidrogeológico das águas minerais dos Açores. Dissertation, University of the Azores (in Portuguese with English abstract).

Cruz JV (1997) Estudo hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). Dissertation, University of the Azores (in Portuguese with English abstract).

Cruz JV (2003) Groundwater and volcanoes: examples from the Azores archipelago. Environ Geol 44:343-355.

Cruz JV (2004) Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. SRA, Ponta Delgada (in Portuguese).

Cruz JV, Amaral C (2004) Major ion chemistry of groundwaters from perched-water bodies at Azores (Portugal) volcanic archipelago. App Geochem 19:445-459.

Cruz JV, França Z (2006) Hydrogeochemistry of thermal and mineral springs of the Azores archipelago (Portugal). J Volcanol Geotherm Res 151:382-398.

Cruz JV, Silva MO (2000) Groundwater salinisation in Pico island (Azores, Portugal): origin and mechanisms. Environ Geol 39:1181-1189.

Cruz JV, Coutinho RM, Carvalho MR, Oskarsson N, Gislason SR (1999) Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. J Volcanol Geotherm Res 92:151-167.

Cruz JV, Antunes P, França Z, Nunes JC, Amaral C (2006) Volcanic lakes from the Azores archipelago (Portugal): geological setting and geochemical characterization. J Volcanol Geotherm Res 156:135-157.

Cruz JV, Freire P, Costa A (2010) Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). J Volcanol Geotherm Res 190:353-64.

Cruz JV, Coutinho R, Pacheco D, Cymbron R, Antunes P, Freire P, Mendes S (2011) Groundwater salinization in the Azores archipelago (Portugal). Environ Earth Sci 62:1273-1285.

Cruz JV, Silva, MO, Dias, MI, Prudêncio MI (2013) Groundwater composition and pollution due to agricultural practices at Sete Cidades volcano (Azores, Portugal). App Geochem 29:162-73.

D´Alessandro W, Brusca L, Kyriakopoulos K, Michas G, Papadakis G (2008) Methana, the westernmost active volcanic system of the south Aegean arc (Greece): insight from fluids geochemistry. J Volcanol Geotherm Res 178:818-828.

De Gregorio S, Camarda M, Longo M, Cappuzzo S, Giudice G, Gurrieri S (2011) Long-term continous monitoring of the dissolved CO_2 performed by using a new device in groundwater of Mt. Etna (southern Italy). Water Res 45:3005-3011.

Di Napoli R, Aiuppa A, Bellomo S, Brusca L, D´Allessandro W, Gagliano Candela E, Longo M, Pecoraino G, Valenza M (2009) A model for Ischia hydrothermal system: evidences from the chemistry of thermal groundwaters. J Volcanol Geotherm Res 186:133-159.

Dotsika E, Poutoukis D, Michelot JL, Raco B (2009) Natural tracers for identifying the origin of the thermal fluids emerging along the Aegean Volcanic arc (Greece): evidence of Arc-Type Magmatic Water (ATMW) participation. J Volcanol Geotherm Res 179:19-32.

Drever JI (1982) The geochemistry of natural waters. surface and groundwater environments. Prentice-Hall, Upper Saddle River.

DROTRH/INAG (2001) Plano Regional da Água. Relatório técnico. DROTRH-INAG, Ponta Delgada, pp 575 (in Portuguese).

Edmunds M, Smedley P (2004) Fluoride in natural waters. In Selinus O, Alloway B, Centeno J, Finkelman R, Fuge R, Lindh U, Smedley P (ed), Esssential of medical geology. Impacts of the natural environment on public health. Elsevier, Amsterdam, pp 301-329.

Eff-Darwich A, Coello J, Viñas R, Soler V, Martin-Luis MC, Farrujia I, Quesada ML, Nuez J (2008) - Underground temperature measurements as a tool for volcanic activity monitoring in the island of Tenerife, Canary Islands. Pure Appl Geophys 165:135-145.

Evans WC, Sorey ML, Cook AC, Kennedy BM, Shuster DL, Colvard EM, White LD, Huebner MA (2002) Tracing and quantifying magmatic carbon discharge in cold groundwaters: lessons learned from Mammoth Mountain, USA. J Volcanol Geotherm Res 114:291-312.

Evans W, Bergfeld D, van Soest M, Huebner M, Fitzpatrick J, Revesz K (2006) Geochemistry of low-temperature springs northwest of Yellowstone caldera: Seeking the link between seismicity, deformation, and fluid flow. J Volcanol Geotherm Res 154:169-180.

Federico C, Aiuppa A, Favara R, Gurrieri S, Valenza M (2004) Geochemical monitoring of groundwaters (1998-2001) at Vesuvius volcano (Italy). J Volcanol Geotherm Res 133:81-104.

Freire P (2006) Águas minerais e termais da ilha de São Miguel (Açores): caracterização hidrogeológica e implicações para a monitorização vulcanológica. Dissertation, University of the Azores (in Portuguese with English abstract).

Freire P, Andrade C, Coutinho R, Cruz JV (2013) Spring geochemistry in an active volcanic environment (São Miguel, Azores): source and fluxes of inorganic solutes. Sco Total Environ. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.073.

Gaspar JL, Queiroz G, Pacheco JM, Ferreira T, Wallenstein N, Almeida MH, Coutinho R (2004) Basaltic lava balloons produced during the 1998-2001 Serreta submarine ridge eruption (Azores). In White JDL, Smellie JL, Clague DA (ed), Explosive subaqueous volcanism, Geophysical Monograph 140, American Geophysical Union, pp 205-212.

Goff F, McMurtry GM, Counce D, Simac JA, Roldán-Manzo AR, Hilton DR (2000) Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes, Galapagos Archipelago, Ecuador. Bull Volcanol 62:34-52.

Grassa F, Capasso G, Favara R, Inguaggiato S (2006) Chemical and isotopic composition of waters and dissolved gases in some thermal springs of Sicily and adjacent volcanic islands, Italy. Pure App Geophys 163:781-807.

Giggenbach WF (1988) Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Ca-Mg geoindicators. Geochim Cosmochim Acta 52:2749-2765.

Guo Q, Wang Y (2012) Geochemistry of hot springs in the Tengchong hydrothermal areas, Southern China. J Volcanol Geotherm Res 215-216:61-73.

Jang Ch-S (2010) Applying scores of multivariate statistical analyses to characterize relationships between hydrochemical properties and geological origins of springs in Taiwan. J Geochem Exp 105:11-18.

Joseph EP, Fournier N, Lindsay JM, Fisher TP (2011) Gas and water geochemistry of geothermal systems in Dominica, Lesser Antilles island arc. J Volcanol Geotherm Res 206:1-14.

Lewicki J, Fischer T, Williams S (2000) Chemical and isotopic compositions of fluids at Cumbal Volcano, Colombia: evidence for magmatic contribution. Bull Volcanol 62:347-361.

Love D, Hallbauer D, Amos A, Hranova R (2004) Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. Phys Chem Earth 29:1135-1143.

Martínez D, Londoño O, Massone H, Buitrago P, Lima L (2012) Hydrogeochemistry of fluoride in the Quequen river basin: natural pollutants distribution in the argentine pampa. Environ Earth Sci 65:411–20.

Martini M, Giannini L, Buccianti A, Prati F, Cellini Legittimo P, Lozelli P, Capaccioni B (1991) 1980-1990: ten years of geochemical investigation at Phlegrean Fields (Italy). J Volcanol Geotherm Res 48:161-171.

Meng SX, Maynard JB (2001) Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in São Paulo state, Brazil. J Hydrol 250:78-97.

Minissale A, Mattash M, Vaselli O, Tassi F, Al-Ganad I, Selmo E, Shawki N, Tedesco D, Poreda R, Ad-Dukhain A, Hazzae M (2007) Thermal springs, fumaroles and gas vents of continentalYemen: Their relation with active tectonics, regional hydrology and the country's geothermal potential. App Geochem 22:799-820.

Morell, I, Pulido Bosch A, Daniele L, Cruz JV (2008) Chemical and isotopic assessment in volcanic thermal waters: cases of Ischia (Italy) and São Miguel (Azores, Portugal). Hydrol Process 22:4386-4399.

Nordstrom DK, Jenne AJ (1977) Fluorite solubility equilibria in selected geothermal waters. Geochim Cosmochim Acta 4:175–88.

Nordstrom DK, McCleskey RB, Ball JW (2009) Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-sulfate waters. App Geochem 24:191-207.

Oskarsson N (1994) Volcanic components in groundwater: monitoring and interpretation. In Barberi F, Casale R, Fantechi R (ed), Proceedings of the course on Mitigatio of Volcanic Hazards, European Commission, Brussels, pp 393-401.

Pacheco J M, Ferreira T, Queiroz G, Wallenstein N, Coutinho R, Cruz JV, Pimentel A, Silva R, Gaspar JL, Goulart C (2013) Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores. In Dias R, Araújo A, Terrinha P, Kullberg JC (ed), Geologia de Portugal, Escolar Editora, Lisboa, pp 595-690 (in Portuguese).

Papatheodorou G, Lambralis N, Panagopoulos G (2007) Application of multivariate statistical procedures to the hydrochemical study of a coastal aquifer: an example from Crete, Greece. Hydrological Processes 21:1482-1495.

Parkhurst DL, Appelo CAJ (1999) User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations Water-Resources Investigation Report 99-4259, USGS, Denver.

Queiroz G (1997) Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores): história eruptiva e avaliação do hazard. Dissertation, University of the Azores.

Queiroz G, Gaspar JL, Cole PD, Guest JE, Wallenstein N, Duncan AM, Pacheco JM (1995) Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do Séc. XV. Açoreana 8:159-168 (in Portuguese).

Schoeller H (1962) Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique, Recherche, Exploitation et Évaluation des Ressources. Masson et Cie, Paris (in French).

Shevenell L, Goff F (1993) Addition of magmatic volatiles into the hot spring waters of Loowit Canyon, Mount St. Helens, Washington, USA. Bull Volcanol 35:489-503.

Shibata T, Akita F, Hirose W, Ikeda R (2008) Hydrological and geochemical changes related to volcanic activity of Uso volcano, Japan. J Volcanol Geotherm Res 173:113-121.

Swanson S, Bahr JM, Schwar MT, Potter KW (2001) Two-way cluster analysis of geochemical data to constrain spring source waters. Chem Geol 179:73-91.

Taran Y, Rouwet D, Inguaggiato S, Aiuppa A (2008) Major and trace element geochemistry of neutral and acidic thermal springs at El Chichón volcano, Mexico. J Volcanol Geotherm Res 178:224-236.

Tassi F, Vaselli O, Capaccioni B, Macias JL, Nencetti A, Montegrossi G, Magro G (2003) Chemical composition of fumarolic gases and spring discharges from El Chichòn volcano, Mexico: causes and

implications of the changes detected over the period 1998-2000. J Volcanol Geotherm Res 123:105-121.

Valentino GM, Stanzione D (2003) Source processes of the thermal waters from the Phlegraean Fields (Naples, Italy) by means of the study of selected minor and trace elements distribution. Chem Geol 194:245-274.

Valentino GM, Stanzione D (2004) Geochemical monitoring of the thermal waters of the Phlegraean Fields. J Volcanol Geotherm Res 133:261-289.

Varekamp JC, Ouinette A, Herman S, Bermudez A, Delpino D (2001) Hydrothermal elemental fluxes during the 2000 eruptions of Copahue, Argentina. A "beehive volcano in turmoil". Geology 29:1059-1062.

Varekamp JC, Ouimette AP, Herman SW, Flynn KS, Bermudez A, Delpino D (2009) Naturally acid waters from Copahue volcano, Argentina. App Geochem 24:208-20.

Weston FS (1964) List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports. Bol Mus Lab Min Geol Fac Ciências Lisboa, 10:3-18.

6.9 | ÁGUAS MINERAIS AO LONGO DA ZONA DE FALHA PENACOVA - RÉGUA - VERÍN, TROÇO DE CHAVES - VERÍN

A Zona de Falha Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.) corresponde a uma importante estrutura tectónica que se estende por toda a Zona Centro Ibérica, relacionada com a génese do Arco - Ibero - Armoricano, comportando-se, inicialmente a falha Penacova - Régua - Verín como uma falha de desligamento direito, de direcção geral NNE-SSW até ao final do Vestefaliano (Carbónico superior); entre o Estefaniano (carbónico superior) e o Pérmico inferior a falha movimentou-se com uma componente esquerda importante (Teixeira *et al*., 1979; Ribeiro *et al.,* 1979). Actualmente a falha Penacova - Régua - Verín constitui uma estrutura activa.

O padrão geométrico actual da Z.F.P.R.V. corresponde a uma zona de deformação intensa, onde podem ser especificados segmentos em *echelon*, com salto, intersecção, bifurcação e curvatura de segmentos (Baptista, 1998).

Geologicamente, em território nacional, a Z.F.P.R.V. desenvolve-se no soco formado por rochas metassedimentares, datadas do Precâmbrico superior a Câmbrico, e rochas granitóides de idade varisca, cortando também rochas de cobertura, constituídas por sedimentos datados do Mesozóico e do Cenozóico (Teixeira *et al.,* 1974; Baptista, 1990).

A Zona de Falha Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.) chamou a atenção de geólogos e geógrafos devido principalmente à presença de numerosas nascentes de águas minerais, associada à existência de uma morfologia bem marcada. Deste modo os aspectos mais comuns e importantes apresentados pelos pontos de água mineral localizados ao longo da Z.F.P.R.V. são:

-a sua localização em zonas deprimidas, correspondendo a fases tectónicas confinadas por escarpas de falha importantes;

-a sua instalação em rochas graníticas e metassedimentares paleozóicas, por vezes próximas de preenchimentos sedimentares cenozóicos de espessura variável;

-a presença de sismicidade histórica e instrumental;

-a presença de falhas importantes com troços activos (Baptista, 1998).

6.10 | DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ÁGUA MINERAL

No Zona de Falha Penacova - Régua - Verín, troço de Chaves - Verín procedeu-se a um levantamento de campo no intuito de localizar os pontos de água mineral existentes. Para este efeito utilizou-se, no terreno, o GPS modelo Garmin Map276C, no sistema de coordenadas UTM WGS 84, juntamente com as Cartas Militares, folhas 21 e 34, à escala 1:25000 referentes a Portugal Continental (Figura 6.56).

As coordenadas UTM de cada ponto de água mineral foram rectificadas sempre que as coordenadas dadas pelo GPS, no momento, não coincidiam com a localização, observada directamente no local e indicada pela Carta Militar utilizada, à escala 1:25000, referente à zona de observação (Anexo A-I).

Os 14 pontos de água mineral, refenciados, foram distribuídos, de acordo com a metodologia apresentada por Machado, (2009), por três pólos hidrominerais, a saber: Pólo Hidromineral de Chaves, Pólo Hidromineral de Vilarelho da Raia e Pólo Hidromineral de Verín. Para cada um dos pólos hidrominerais referidos, é efectuada uma descrição abreviada que incluí o enquadramento geomorfológico e geológico. Realça-se que, não obstante esta divisão por pólos hidrominerais, posteriormente, quando da apresentação e discussão dos dados hidrogeoquímicos, estes serão, por uma questão práctica agregados em dois grandes conjuntos (Trás-os-Montes e Galiza).

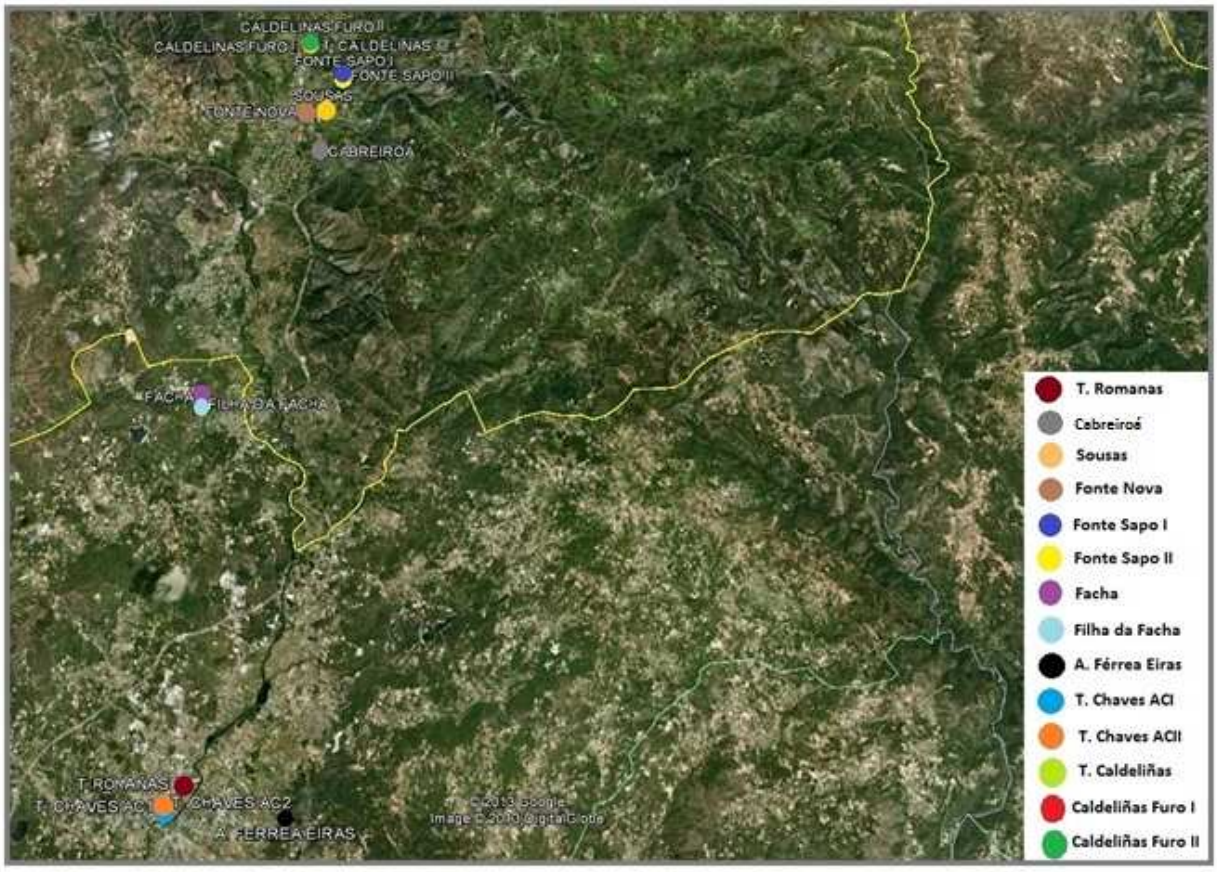


Figura 6.56 | Distribuição relativa dos pontos de água mineral da Zona de Falha Penacova - Régua - Verín, troço de Chaves - Verín.

6.10.1 | PÓLO HIDROMINERAL DE CHAVES

O Pólo Hidromineral de Chaves localiza-se no distrito de Vila Real, concelho de Chaves, freguesia de Santa Maria Maior (antiga freguesia de Chaves), onde se encontram os seguintes pontos de água mineral: Termas Romanas (Ref. 117), Termas de Chaves AC1 (Ref. 126) e Termas de Chaves AC2 (Ref. 127). A nascente da Água Férrea das Eiras (Ref. 125) pertence à freguesia de Eiras, freguesia periurbana de Chaves.

6.10.1.1 | Enquadramento Geomorfológico

Geomorfologicamente a região de Chaves/Eiras é caracterizada por uma depressão externa, ou bacia, com cerca de 10 km de comprimento e 5 km de largura, gerada por um acidente tectónico longitudinal com mais de 500 km de extensão, o qual tem origem em Luarca (Astúrias), atravessa a Galiza e estende-se no território nacional até à Nazaré, prolongando-se no mar, através do designado ”Canhão da Nazaré”, um vale submarino dos mais profundos da Europa. Este acidente tectónico

foi designado por Baptista (1998) como Zona de Falha Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.) e constitui uma das mais importantes estruturas tardi-hercínicas da Europa Ocidental, que terá tido origem no Carbónico superior, sofrido reajustamentos no Mesozóico e reactivação com movimentos verticais no Quaternário, estando-lhe associado um complexo de grabens e horsts (Grade & Moura, 1982).

A superfície da bacia de Chaves encontra-se, apenas 3-4 m acima do leito do rio Tâmega e as respectivas cotas rondam os 340-350 m. Esta bacia é limitada a este, pelo rebordo da Serra do Brunheiro e pelos relevos que se estendem até à cota de Mairos, com altitudes que podem atingir os 1000 m. A oeste, encontra-se a Superfície de Sanjurge que se assemelha a uma escadaria formada por sucessivos degraus que sobem em direcção ao planalto do Barroso, separado por fracturas importantes de direcção NNE-SSW. Na Superfície de Sanjurge encontra-se em primeiro plano a plataforma de Sanjurge - Vale de Anta, com cerca de 450-500 m de altitude da qual se passa para a plataforma de Bobadela, com cerca de 600 m de altitude; por vertente abrupta sobe-se para o alto da Serra do Leiranco com 1127 m de altitude (Teixeira, 1974). A sul a bacia (ou veiga) de Chaves é limitada pelo *horst* de Santa Bárbara, resultante da movimentação dos segmentos da falha de Vidago e de Vilar de Nantes de direcção NNE-SSW. Para norte a bacia estreita-se junto à fronteira de Vila Verde da Raia, prolongando-se pela bacia de Verín, em tudo semelhante à bacia de Chaves (Teixeira, 1974; Sousa Oliveira & Baptista, 2002).

6.10.1.2 | Enquadramento Geológico

O ambiente litológico que enquadra os pontos de água mineral de Chaves é dominado por um bedrock de granitos, sin e pós-tectónico. As rochas encaixantes são rochas metassedimentares paleozóicas e silúricas metamorfizadas no final do Paleozóico pelo contacto com a intrusão granítica hercínica. As rochas metassedimentares silúricas (quartzofiládios, quartzitos e xistos grafitosos) encontram-se muito fracturadas pela tectónica alpina activa, igualmente responsável pela ocorrência de vários pontos de água mineral, associados a um sistema hidromineral que é condicionado por quatro famílias de fracturas (NNE-SSW a N-S, ENE-WSW, NW-SE a NNW-SSE e WNW-ESE). Além das rochas metassedimentares registam-se ainda diversos granitos e rochas filonianas, tectonizadas principalmente por famílias de fracturas verticais e subverticais de direcção N-S a NNE-SSW (Machado, 2009).

Os pontos de água mineral localizam-se na zona de contacto do granito alcalino de duas micas com rochas metassedimentares, condicionadas por fracturas de direcção NE-SW. O *graben* (bacia de Chaves) é preenchido por espessa cobertura sedimentar que pode ultrapassar 225 m; os depósitos sedimentares são de natureza arenosa, argilosa, cascalhenta e também arcósica (Machado, 2009).

6.10.2 | PÓLO HIDROMINERAL DE VILARELHO DA RAIA

O Pólo Hidromineral de Vilarelho da Raia localiza-se no distrito de Vila Real, concelho de Chaves, freguesia de Vilarelho da Raia. Os pontos de água mineral Facha (Ref. 123) e Filha da Facha ou Fontanela (Ref. 124) situam-se a cerca de 1,4 km a oeste da sede de freguesia, aldeia de Vilarelho da Raia (Almeida & Almeida, 1970).

6.10.2.1 | Enquadramento Geomorfológico

Os pontos de água mineral de Vilarelho da Raia encontram-se 6 km a norte de Chaves no *graben* de Calvelos, entre as ribeiras do Cambedo e de Lamares, a 385 m de altitude, junto ao lugar designado por Campo Redondo (aldeia de Vilarelho da Raia). A principal forma de relevo, na proximidade das emergências é a Serra de Alborinha ou Alvorinha (500 m), acerca de 700 m, na direcção oeste, encontrando-se mais para noroeste a Serra do Murico (683 m) (Teixeira, 1970). Com enquadramento geomorfológico semelhante ao dos pontos de água mineral de Vilarelho da Raia, são conhecidas nas proximidades, já em território da Galiza, outras emergências de quimismo semelhante, em Cabreiroá, Fontenova e Sousas, pertencentes à bacia de Verín (Carvalho *et al.,* 1995; Baptista, 1998).

6.10.2.2 | Enquadramento Geológico

A litologia enquadrante é granítica (granito de grão médio e fino de duas micas e deformação Hercínica). A nascente da Facha (Ref. 105) emerge de uma fractura de granito de grão médio e duas micas, cortado perto da nascente, por um filão pegmatítico de orientação E-W, inclinado para o sul. Estruturalmente, a zona das nascentes é condicionada pelo acidente tectónico Z.F.P.R.V., um sistema de falhas de direcção geral NNE-SSW, com expressão geomorfológica depressionária. (Na zona de Vilarelho da Raia este acidente expressa-se em dois ramos sub-paralelos, o de "Vilarelho, cimentado com quartzo escassamente brechificado e o das "nascentes com caixa milonitizada"). Nesta região assinalam-se as fracturas E - W, muito expressivas

ora preenchidas por filões de rochas básicas, ora com forte cisalhamento e alteração hidrotermal dos granitos (Carvalho *et al.,* 1995).

6.10.3 | PÓLO HIDROMINERAL DE VERÍN

O Pólo Hidromineral de Verín localiza-se na região da Galiza, Província de Ourense, comarca e município de Verín e é constituído pelos pontos de água mineral: Cabreiroá (Ref. 118), situado a 2,5 km a SE do centro de Verín; Fontenova (Ref. 120), situado a 500m a E do centro urbano; Sousas (Ref. 119) que se encontra a 1,2 km E do centro urbano (estrada OU-110); Termas Caldeliñas (Ref. 128), Caldeliñas Furo I (Ref. 129), Caldelinãs Furo II (Ref. 130) localizados na aldeia do mesmo nome, aproximadamente a 2,5 km a Norte de Verín pela estrada OU-113; Fonte do Sapo I (Ref. 121) e Fonte do Sapo II (Ref. 122) situados a 2,5 km a Nordeste do centro da cidade, numa transversal da estrada nacional N-525 (Santiago de Compostela - Benavente).

6.10.3.1 | Enquadramento Geomorfológico

Os oito pontos de água mineral referidos anteriormente encontram-se próximos uns dos outros, na bacia de Verín, também designada por vale de Monterrey, com cerca de 17 km de comprimento e 3 km de largura, prolongamento para norte da bacia de Chaves; as duas bacias são atravessadas pelo rio Tâmega que banha as cidades de Verín e de Chaves, associadas na Eurocidade Chaves-Verín que compartilha instalações e serviços nas áreas da cultura e desporto. A bacia de Verín, uma depressão originada pelo acidente tectónico Z.F.P.R.V., é limitada a sul pela bacia de Chaves, a norte pela Serra de São Mamede, a este pela Serra Seca e a oeste pela Serra do Larouco.

6.10.3.2 | Enquadramento Geológico

Litologicamente a bacia de Verín é muito semelhante à bacia de Chaves e ao *graben* de Vilarelho da Raia, apresentando como rochas encaixantes, rochas metassedimentares paleozóicas e silúricas metamorfizadas no final do Paleozóico pelo contacto com a intrusão granítica hercínica que constitui a cama rochosa (bedrock) do ambiente litológico. A bacia de Verín é preenchida por uma cobertura sedimentar menos espessa que a da bacia de Chaves, sendo contudo, constituída por depósitos da mesma natureza, isto é, arenosa, argilosa, cascalhenta e arcósica. Ao estudar-se a

relação entre as emergências de água mineral e a fracturação pós-orogénica (tardi-hercínica) encontrou-se uma ligação evidente, sendo possível dizer que tais emergências são condicionadas pelo sistema de fracturas de orientação N-S a NNW-SSE (Baptista, 1998).

6.10.4 | CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS MINERAIS AO LONGO DA ZONA DE FALHA PENACOVA - RÉGUA - VERÍN, TROÇO DE CHAVES - VERÍN

6.10.4.1 | Parâmetros Físico-Químicos

Os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral estudados, nomeadamente a temperatura, a condutividade eléctrica, o pH, a alcalinidade, e o CO_2 livre, sofreram um tratamento estatístico. Para o efeito distribuíram-se os pontos de água mineral, localizados ao longo da Zona de Fractura Penacova - Régua - Verín (Z.F.P.R.V.), Troço Chaves - Verín, respectivamente em Trás-os-Montes e na Galiza, acrescentando para cada parâmetro o valor obtido, considerando o total de amostras em Trás-os-Montes, na Galiza e na região da Península Ibérica considerada.

Na Tabela 6.36 figuram os parâmetros físico-químicos dos pontos de água mineral analisados ao longo da Z.F.P.F.V., Troço Chaves - Verín, em Trás-os-Montes, Galiza e na região da Península Ibérica respectiva. Para cada parâmetro indica-se o número de amostras obtido em Trás-os-Montes, na Galiza e na região da Península Ibérica, bem como a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana respectivos.

Relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, que apresentam um máximo de 67,40 ºC (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), um mínimo de 15,00 ºC (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.), uma média de 40,63 ºC, um desvio padrão de 26,39 ºC e mediana de 40,63 ºC (Tabela 6.36). Na Galiza foram analisadas oito amostras que apresentam um máximo de temperatura de 23,60 ºC (Termas Caldeliñas - Ref. 128), um mínimo de 12,50 ºC (Cabreiroá - Ref. 118), uma média de 16,85 ºC, um desvio padrão de 3,32 ºC e uma mediana de 16,75 ºC. Na região da Península Ibérica foram analisadas 14 amostras, máximo de 67,40 ºC, mínimo de 12,50 ºC, média de 27,04 ºC, desvio padrão de 20,57 ºC e mediana igual a 17,50 ºC.

No que diz respeito ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, tendo sido observado um máximo de 2560,00 µS/cm (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), um mínimo de 202,00 µS/cm (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.), uma média de 1864,67 µS/cm, um desvio padrão de 911,53 µS/cm

e uma mediana de 2295,00 µS/cm (Tabela 6.36). Na Galiza foram analisadas oito amostras, com um máximo de 2600,00 µS/cm (Fontenova - Ref. 120), um mínimo de 1115,00 µS/cm (Fonte do Sapo I - Ref. 121), uma média de 1902,88 µS/cm, um desvio padrão de 472,69 µS/cm e uma mediana de 1871,00 µS/cm. Na região da Península Ibérica foram analisadas 14 amostras, máximo de 2600,00 µS/cm, mínimo de 202,00 µS/cm, média de1886,50 µS/cm, desvio padrão de 663,53 µS/cm e mediana igual a 1886,50 µS/cm, o que configura pequena dispersão de valores.

Relativamente ao parâmetro pH, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, apresentando um valor máximo de 6,70 (Filha da Facha - Ref. 124.), um mínimo de 6,35 (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.), uma média de 6,58, desvio padrão de 0,13 e uma mediana de 6,60 (Tabela 6.36). Na Galiza foram analisadas oito amostras, com um valor máximo de pH igual a 6,92 (Termas Caldeliñas - Ref. 128), um mínimo de 6,12 (Cabreiroá - Ref. 118), uma média de 6,65, um desvio padrão de 0,27 e uma mediana de 6,72. Na região da Península Ibérica foram analisadas 14 amostras, máximo de 6,92, mínimo de 6,12, média de 6,62, desvio padrão de 0,21 e mediana de 6,65, o que evidencia, além de uma pequena dispersão de valores, a natureza ligeiramente ácida destas águas.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, com um valor médio de 1004,92 mg/L, desvio padrão de 512,32 mg/L, máximo de 1395,00 mg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), mínimo de 51,50 mg/L. (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana de 1243,50 mg/L (Tabela 6.36). Na Galiza foram analisadas oito amostras, com uma média de 1009,69 mg/L, desvio padrão de 293,86 mg/L, um máximo 1456,50 mg/L (Fontenova - Ref. 120), um mínimo 528,50 mg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121) e uma mediana de 997,50 mg/L (Tabela 6.36). Na região da Península Ibérica foram analisadas no total 14 amostras, com um valor médio de 1007,64 mg/L, desvio padrão de 384,00, um máximo de 1456,50 mg/L, um mínimo de 51,50 mg/L e uma mediana 1001,25 mg/L.

Quanto ao CO_2 livre foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, com uma média de 205,80 mg/L, desvio padrão de 111,05 mg/L, um máximo igual 356,60 mg/L (Facha - Ref. 123.), um mínimo de 36,30 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e uma mediana igual a 200,10 mg/L (Tabela 6.36). Na Galiza foram analisadas oito amostras, com uma média de 282,50 mg/L, desvio padrão de 226,84 mg/L, um valor máximo de 807,00 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118), um mínimo de 151,00 mg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121) e uma mediana de 194,85 mg/L. Na região da Península Ibérica foram analisadas ao todo 14 amostras de água mineral, com um valor máximo

igual a 807,00 mg/L, um valor mínimo de 36,30 mg/L, média de 249,63 mg/L, desvio padrão de 184,40 mg/L e mediana de 194,85 mg/L.

Tabela 6.36 | Parâmetros físico - químicos: temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Parâmetros Físico-Químicos	Localização	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (ºC)	Trás-os-Montes	6	40,63	26,39	67,40	15,00	40,30
	Galiza	8	16,85	3,32	23,60	12,50	16,75
	Penísula Ibérica	**14**	**27,04**	**20,57**	**67,40**	**12,50**	**17,50**
Condutividade (µS/cm)	Trás-os-Montes	6	1864,67	911,53	2560,00	202,00	2295,00
	Galiza	8	1902,88	472,69	2600,00	1115,00	1871,00
	Penísula Ibérica	**14**	**1886,50**	**663,53**	**2600,00**	**202,00**	**1886,50**
pH	Trás-os-Montes	6	6,58	0,13	6,70	6,35	6,60
	Galiza	8	6,65	0,27	6,92	6,12	6,72
	Penísula Ibérica	**14**	**6,62**	**0,21**	**6,92**	**6,12**	**6,65**
Alcalinidade (mg/L)	Trás-os-Montes	6	1004,92	512,32	1395,00	51,50	1243,50
	Galiza	8	1009,69	293,86	1456,50	528,50	997,50
	Penísula Ibérica	**14**	**1007,64**	**384,00**	**1456,50**	**51,50**	**1001,25**
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Trás-os-Montes	6	205,80	111,05	356,60	36,30	200,10
	Galiza	8	282,50	226,84	807,00	151,00	194,85
	Penísula Ibérica	**14**	**249,63**	**184,40**	**807,00**	**36,30**	**194,85**

6.10.4.2 | Elementos Maiores: catiões

As concentrações de catiões nos pontos de água mineral estudados, nomeadamente o sódio (Na^+), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}), tiveram um tratamento estatístico, com indicação para cada catião, do número de amostras, da média (mg/L), do desvio padrão (mg/L), dos valores máximo (mg/L) e mínimo (mg/L) e da mediana (mg/L), em Trás-os-Montes, na Galiza e na região da Península Ibérica correspondente (Tabela 6.37).

Relativamente ao sódio foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 363,38 mg/L, desvio padrão de 202,61 mg/L, máximo de 547,52 mg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), mínimo de 10,30 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana igual a 442,50 mg/L e oito amostras, na Galiza, média de 357,20 mg/L, desvio padrão de140,77 mg/L, máximo de 544,32 mg/L (Fontenova - Ref. 120), mínimo de 169,77 mg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128) e mediana de 339,31 mg/L

(Tabela 6.37). Na região da Península Ibérica foram analisadas no total 14 amostras, média de 359,85 mg/L, desvio padrão de 162,69 mg/L, máximo de 547,52 mg/L, mínimo de 10,30 mg/L (Ref) e mediana igual a 399,92 mg/L.

No que diz respeito ao potássio foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 11,10 mg/L, desvio padrão de 6,71 mg/L, máximo de 16,87 mg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), mínimo de 2,19 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana de 14,27 mg/L e oito amostras na Galiza, valor médio de 25,58 mg/L, desvio padrão de 17,44 mg/L, máximo de 61,94 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118), mínimo de 14,52 mg/L (Caldeliñas Furo I - Ref. 129) e mediana de 19,03 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica, média de 21,09 mg/L, desvio padrão de 16,18 mg/L e mediana igual a 16,95 mg/L (Tabela 6.37). O valor médio do teor de potássio (21,09 mg/L) é aproximadamente doze vezes inferior ao teor de sódio, sendo que o valor máximo (61,94 mg/L) pertence à Galiza e o valor mínimo (2,19 mg/L) a Trás-os-Montes.

Quanto ao cálcio foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 27,70 mg/L, desvio padrão de 8,21 mg/L, máximo de 35,32 mg/L (Termas Romanas - Ref. 117), mínimo de 11,70 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana de 29,82 mg/L e oito amostras na Galiza, valor médio de 28,58 mg/L, desvio padrão de 32,37 mg/L, máximo de 106,36 mg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128), mínimo de 7,74 mg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121) e mediana igual a16,86 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.37). O valor médio do teor de cálcio na região da Península Ibérica é 28,08 mg/L, desvio padrão de 24,30 mg/L, sendo que o valor máximo (106,36 mg/L) e o valor mínimo (7,74 mg/L) pertencem ambos à Galiza.

Relativamente ao magnésio foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 4,50 mg/L, desvio padrão de 0,46 mg/L, máximo de 4,92 mg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126), mínimo de 3,60 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana de 4,62 mg/L e oito amostras na Galiza, valor médio de 5,27 mg/L, desvio padrão de 3,85 mg/L, máximo de 13,24 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118), mínimo de 2,47 mg/L (Fonte do Sapo II - Ref. 122) e mediana igual a13,21 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.37). O valor médio do teor de magnésio na região da Península Ibérica é 4,94 mg/L, desvio padrão de 2,87 mg/L, sendo que o valor máximo (13,24 mg/L) e o valor mínimo (2,47 mg/L) pertencem ambos à Galiza.

Tabela 6.37 | Elementos maiores: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio) nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Elementos Maiores Catiões	Localização	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sódio (mg/L)	Trás-os-Montes	6	363,38	202,61	547,52	10,30	442,50
	Galiza	8	357,20	140,77	544,32	169,77	339,31
	Penísula Ibérica	**14**	**359,85**	**162,69**	**547,52**	**10,30**	**399,92**
Potássio (mg/L)	Trás-os-Montes	6	11,10	6,71	16,87	2,19	14,27
	Galiza	8	25,58	17,44	61,94	14,52	19,03
	Penísula Ibérica	**14**	**21,09**	**16,18**	**61,94**	**2,19**	**16,95**
Cálcio (mg/L)	Trás-os-Montes	6	27,70	8,21	35,32	11,70	29,82
	Galiza	8	28,58	32,37	106,36	7,74	16,86
	Penísula Ibérica	**14**	**28,08**	**24,30**	**106,36**	**7,74**	**27,71**
Magnésio (mg/L)	Trás-os-Montes	6	4,50	0,46	4,92	3,60	4,62
	Galiza	8	5,27	3,85	13,24	2,47	3,21
	Penísula Ibérica	**14**	**4,94**	**2,87**	**13,24**	**2,47**	**4,52**

6.10.4.3 | Elementos Maiores: Aniões

As concentrações de aniões nos pontos de água mineral estudados, nomeadamente o sulfato (SO_4^{2-}), o cloreto (Cl^-), o bicarbonato (HCO_3^-), o fluoreto (F^-) e o nitrato (NO_3^-) tiveram um tratamento estatístico, com indicação para cada uma destas espécies aniónicas, do número de amostras, da média (mg/L), do desvio padrão (mg/L) (Tabela 6.38).

Relativamente ao sulfato foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 17,81 mg/L, desvio padrão de 11,15 mg/L, máximo de 30,11 mg/L (Termas Romanas - Ref. 117), mínimo de 3,90 mg/L (Filha da Facha - Ref. 124.) e mediana igual a 18,19 mg/L e sete amostras na Galiza, valor médio de 2,50 mg/L, desvio padrão de 2,92 mg/L, máximo de 8,42 mg/L (Fontenova - Ref. 120) e mínimo de 0,21 mg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), o que representa um total de 13 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.38). O valor médio do teor de sulfato na região da Península Ibérica é 9,57 mg/L, desvio padrão de 10,92 mg/L e mediana de 3,99 mg/L, sendo que o máximo (30,11 mg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (0,21 mg/L) à Galiza.

No que diz respeito ao cloreto foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 27,23 mg/L, desvio padrão de 14,54 mg/L, máximo de 41,95 mg/L (Termas Romanas - Ref. 117), mínimo de 7,24 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125.) e mediana de 29,80 mg/L, e oito amostras na Galiza, média de 21,19 mg/L,

desvio padrão de 4,91 mg/L, máximo de 27,69 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118), mínimo de 13,30 mg/L (Fonte do Sapo I- Ref. 121) e mediana de 20,57 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.38). O valor médio do teor de cloreto para região da Península Ibérica é 23,78 mg/L, desvio padrão de 10,20 mg/L e mediana de 21,65 mg/L, sendo que o máximo (41,95 mg/L) e o mínimo (7,24 mg/L) pertencem ambos a Trás-os-Montes.

Quanto ao bicarbonato foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 1225,98 mg/L, desvio padrão de 625,04 mg/L máximo de 1701,90 mg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), mínimo de 62,80 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mediana de 1517,05 mg/L, e oito amostras na Galiza, valor médio de 1231,81 mg/L, desvio padrão de 358,49 mg/L máximo de 1776,90 mg/L (Fontenova - Ref. 120), mínimo de 644,80 mg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121) e mediana de 1216,95 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.38). O valor médio do teor de bicarbonato para a região da Península Ibérica é 1229,31 mg/L, desvio padrão de 468,48 mg/L e mediana de 1245,90 mg/L, sendo que o máximo (1776,90 mg/L) pertence à Galiza e o mínimo (62,80 mg/L) a Trás-os-Montes.

Em relação ao fluoreto foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, média de 5,71 mg/L, desvio padrão de 3,12 mg/L, máximo de 8,17 mg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127), mínimo de 0,09 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mediana de 6,85 mg/L, e oito amostras na Galiza, valor médio de 11,73 mg/L, desvio padrão de 4,44 mg/L, máximo de 15,70 mg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), mínimo de 4,86 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mediana de 13,72 mg/L, o que representa um total de 14 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.38). O valor médio do teor de fluoreto para a região da Península Ibérica é 9,15 mg/L, desvio padrão de 4,89 mg/L e mediana de 8,10 mg/L, sendo que o máximo (15,70 mg/L) pertence à Galiza e o mínimo (0.09 mg/L) a Trás-os-Montes.

Relativamente ao nitrato foi analisada uma amostra em Trás-osMontes com o valor de 1,34 mg/L (Termas Romanas - Ref. 117) e três amostras na Galiza, valor médio de 11,46 mg/L, desvio padrão de 4,79 mg/L, máximo de 15,83 mg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), mínimo de 6,34 mg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121) e mediana de 12,22 mg/L, o que representa um total de 4 águas analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.38). O valor médio do teor de nitrato para a região da Península Ibérica é 8,93 mg/L, desvio padrão de 6,40 mg/L e mediana de 9,28 mg/L, sendo que o máximo (15,83 mg/L) pertence à Galiza e o mínimo (1,34 mg/L) a Trás-os-Montes.

Tabela 6.38 | Elementos maiores: Aniões (sulfato, cloreto, bicarbonato, fluoreto, nitrato) nas águas minerais Trás-os-Montes e Galiza.

Elementos Maiores Aniões	Localização	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Sulfato (mg/L)	Trás-os-Montes	6	17,81	11,15	30,11	3,90	18,19
	Galiza	7	2,50	2,92	8,42	0,21	1,48
	Penísula Ibérica	**13**	**9,57**	**10,92**	**30,11**	**0,21**	**3,99**
Cloreto (mg/L)	Trás-os-Montes	6	27,23	14,54	41,95	7,24	29,80
	Galiza	8	21,19	4,91	27,69	13,30	20,57
	Penísula Ibérica	**14**	**23,78**	**10,20**	**41,95**	**7,24**	**21,65**
Bicarbonato (mg/L)	Trás-os-Montes	6	1225,98	625,04	1701,90	62,80	1517,05
	Galiza	8	1231,81	358,49	1776,90	644,80	1216,95
	Penísula Ibérica	**14**	**1229,31**	**468,48**	**1776,90**	**62,80**	**1245,90**
Fluoreto (mg/L)	Trás-os-Montes	6	5,71	3,12	8,17	0,09	6,85
	Galiza	8	11,73	4,44	15,70	4,86	13,72
	Penísula Ibérica	**14**	**9,15**	**4,89**	**15,70**	**0,09**	**8,10**
Nitrato (mg/L)	Trás-os-Montes	1			1,34		
	Galiza	3	11,46	4,79	15,83	6,34	12,22
	Penísula Ibérica	**4**	**8,93**	**6,40**	**15,83**	**1,34**	**9,28**

6.10.4.4 | Elementos Menores e em Traço

Neste ponto, destacamos os elementos menores e em traço cuja concentração é expressa em µg/L.

Os elementos menores e em traço estudados foram, nomeadamente, o bromo (Br), o lítio (Li), o estrôncio (Sr), o manganês (Mn), o ferro (Fe), o bário (Ba), o zinco (Zn), o cobre (Cu), o níquel (Ni), o chumbo Pb), o cobalto (Co), o crómio (Cr), o alumínio (Al), o arsénio (As), o cádmio (Cd), o selénio (Se) e o mercúrio (Hg). Estes elementos, em número de dezassete, sofreram tal como anteriormente para os elementos maiores, um tratamento estatístico, com indicação, para cada um, do número de amostras, da média, do desvio padrão, do máximo, do mínimo e da mediana discriminadas para Trás-os-Montes, Galiza e região da Península Ibérica (Tabela 6.39).

Entre eles destacamos, pela sua importância, quer nos estudos vulcanológicos, quer na balneoterapia, o alumínio (AL), o ferro (Fe), o litío (Li), o manganês (Mn), o estrôncio (Sr), o chumbo (Pb), o zinco (Zn), o arsénio (As) e o bromo (Br).

Não foi detectado bromo nas águas minerais de Trás-os-Montes e da Galiza.

Quanto ao lítio, foi analisada uma amostra em Trás-os-Montes (Água Férrea das Eiras - Ref. 125), com o valor de 41,00 mg/L (Tabela 6.39).

O estrôncio foi detectado em uma amostra em Trás-os-Montes, com o valor de 65,10 µg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) (Tabela 6.39) .

No que diz respeito ao manganês, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 174,11 µg/L, desvio padrão de 274,11 µg/L, mediana de 59,15 µg/L.máximo de 723,00 µg/L (Termas Romanas - Ref. 117), mínimo de 16,10 µg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127) e mediana igual a 59,15 µg/L e oito amostras na Galiza, valor médio 42,80 µg/L, desvio padrão de 13,78 µg/L, mediana de 43,30 µg/L, máximo de 70,90 µg/L (Sousas - Ref. 119) e mínimo de 27,70 µg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de manganês para a região da Península Ibérica é de 99,09 µg/L, desvio padrão de 183,16 µg/L, sendo que o máximo (723,00 µg/L) e o mínimo (16,10 µg/L) pertencem ambos a Trás-os-Montes, apresentando a mediana o valor de 45,40 µg/L.

Em relação ao ferro, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 731,67 µg/L, desvio padrão de 946,05 µg/L, mediana de 360,00 µg/L, máximo de 2490,00 µg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125), mínimo de 50,00 µg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127) e mediana igual a 360,00 µg/L e oito amostras na Galiza, valor médio 478,75 µg/L, desvio padrão de 612,20 µg/L, mediana de 165,00 µg/L, máximo de 1620,00 µg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mínimo de 40,00 µg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de ferro para a região da Península Ibérica é de 587,14 µg/L, desvio padrão de 750,28 µg/L, sendo que o máximo (2490,00 µg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (40,00 µg/L) à Galiza, apresentando a mediana o valor de 175,00 µg/L.

Quanto ao bário, foram analisadas três amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 82,87 µg/L, desvio padrão de 45,66 µg/L, mediana de 63,60 µg/L, máximo de 135,00 µg/L (Facha - Ref. 123), mínimo de 50,00 µg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mediana igual a 63,60 µg/L e oito amostras na Galiza, valor médio 144,00 µg/L, desvio padrão de 27,45 µg/L, mediana de 145,50 µg/L, máximo de 187,00 µg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mínimo de 109,00 µg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), o que representa um total de 11 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de bário para a região da Península Ibérica é de 127,33 µg/L, desvio padrão de 41,95 µg/L, sendo que o máximo (187,00

µg/L) pertence à Galiza e o mínimo (40,00 µg/L) a Trás-os-Montes, apresentando a mediana o valor de 135,00 µg/L.

Relativamente ao zinco, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 9,72 µg/L, desvio padrão de 9,78 µg/L, mediana de 4,20 µg/L, máximo de 23,20 µg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127) e mínimo de 2,60 µg/L (Facha - Ref. 123) e oito amostras na Galiza, valor médio 12,64 µg/L, desvio padrão de 20,02 µg/L, mediana de 5,60 µg/L, máximo de 61,10 µg/L (Sousas - Ref. 119) e mínimo de 1,50 µg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de zinco para a região da Península Ibérica é de 11,39 µg/L, desvio padrão de 15,97 µg/L, mediana de 5,35 µg/L, sendo que o máximo (61,10 µg/L) e o mínimo (1,50 µg/L) pertencem ambos à Galiza.

Relativamente ao cobre, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 4,98 µg/L, desvio padrão de 2,07 µg/L, mediana de 5,60 µg/L, máximo de 6,20 µg/L (Termas de Chaves AC2 - Ref. 127 e Filha da Facha - Ref. 122) e mínimo de 0,80 µg/L L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e oito amostras na Galiza, valor médio 4,88 µg/L, desvio padrão de 1,14 µg/L, mediana de 4,90 µg/L, máximo de 6,50 µg/L (Fontenova - Ref. 120) e mínimo de 2,90 µg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de cobre para a região da Península Ibérica é de 4,92 µg/L, desvio padrão de 1,53 µg/L, sendo que o máximo (6,50 µg/L) pertence à Galiza e o mínimo (0,80 µg/L) a Trás-os-Montes, apresentando a mediana o valor de 1,30 µg/L.

No que concerne ao níquel foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 1,92 µg/L, desvio padrão de 0,89 µg/L, mediana de 1.95 µg/L, máximo de 3,00 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126) e mínimo de 0,80 µg/L (Facha - Ref. 123) e oito amostras na Galiza, valor médio 1,13 µg/L, desvio padrão de 0,53 µg/L, mediana de 1,05 µg/L, máximo de 1,90 µg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mínimo de 0,50 µg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de níquel para a região da Península Ibérica é de 1,46 µg/L, desvio padrão de 0,79 µg/L, sendo que o máximo (3,00 µg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (0,50 µg/L) à Galiza, apresentando a mediana o valor de 1,30 µg/L.

Em relação ao chumbo, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 0,14 µg/L, desvio padrão de 0,08 µg/L, mediana de 0,13 µg/L, máximo

de 0,26 µg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mínimo de 0,06 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126) e oito amostras na Galiza, valor médio 0,12 µg/L, desvio padrão de 0,07 µg/L, mediana de 0,10 µg/L, máximo de 0,23 µg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mínimo de 0,05 µg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39) . O valor médio do teor de chumbo para a região da Península Ibérica é de 0,13 µg/L, desvio padrão de 0,07 µg/L, sendo que o máximo (0,26 µg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (0,05 µg/L) à Galiza, apresentando a mediana o valor de 0,10 µg/L.

Quanto ao cobalto, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 0,27 µg/L, desvio padrão de 0,30 µg/L, mediana de 0,19 µg/L, máximo de 0,82 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126) e mínimo de 0,02 µg/L (Facha - Ref. 123) e oito amostras na Galiza, valor médio 0,14 µg/L, desvio padrão de 0,13 µg/L, mediana de 0,10 µg/L, máximo de 0,36 µg/L (Caldeliñas Furo I - Ref. 129) e mínimo de 0,01 µg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de c0balto para a região da Península Ibérica é de 0,20 µg/L, desvio padrão de 0,22 µg/L, sendo que o máximo (0,82 µg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (0,01 µg/L) à Galiza, apresentando a mediana o valor de 0,13 µg/L.

O crómio foi analisado em uma amostra em Trás-os-Montes, com o valor de 4,00 µg/L (Filha da Facha - Ref. 122) (Tabela 6.39).

Quanto ao alumínio, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 15,83 µg/L, desvio padrão de 6,79 µg/L, mediana de 16,50 µg/L, máximo de 24,00 µg/L (Facha - Ref. 123) e mínimo de 7,00 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126) e oito amostras na Galiza, valor médio 152,25 µg/L, desvio padrão de 161,30 µg/L, mediana de 83,00 µg/L, máximo de 399,00 µg/L (Sousas - Ref. 119) e mínimo de 18,00 µg/L (Termas Caldeliñas - Ref. 128), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de alumínio para a região da Península Ibérica é de 93,79 µg/L, desvio padrão de 137,60 µg/L, sendo que o máximo (399,00 µg/L) pertence à Galiza e o mínimo (7,00 µg/L) a Trás-os-Montes, apresentando a mediana o valor de 22,50 µg/L.

Em relação ao arsénio, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 62,62 µg/L, desvio padrão de 47,74 µg/L, mediana de 46,10 µg/L, máximo de 127,00 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126) e mínimo de 16,20 µg/L (Facha - Ref. 123) e oito amostras na Galiza, valor médio 34,77 µg/L, desvio padrão de 31,86 µg/L, mediana de 29,25 µg/L, máximo de 84,30 µg/L (Caldeliñas Furo I - Ref.

129) e mínimo de 2,76 µg/L (Fonte do Sapo I - Ref. 121), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de arsénio para a região da Península Ibérica é de 46,71 µg/L, desvio padrão de 40,35 µg/L, sendo que o máximo (127,00 µg/L) pertence a Trás-os-Montes e o mínimo (2,76 µg/L) à Galiza, apresentando a mediana o valor de 35,75 µg/L.

Quanto ao cádmio, foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 0,05 µg/L, desvio padrão de 0,03 µg/L, mediana de 0,06 µg/L, máximo de 0,09 µg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mínimo de 0,01 µg/L (Filha da Facha - Ref. 122) e oito amostras na Galiza, valor médio de 0,05 µg/L, desvio padrão de 0.03 µg/L, mediana de 0,05 µg/L, máximo de 0,09 µg/L (Cabreiroá - Ref. 118) e mínimo de 0,01 µg/L (Fonte do Sapo II - Ref. 122), o que representa um total de 14 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). O valor médio do teor de cádmio para a região da Península Ibérica é de 0,05 µg/L, desvio padrão de 0.03 µg/L, mediana de 0,05 µg/L, sendo que o máximo (0,09 µg/L) e o mínimo (0,01 µg/L) pertencem ambos e simultaneamente, a Trás-os-Montes e à Galiza.

Relativamente ao selénio, foram analisadas duas amostras em Trás-os-Montes, com os valores de 0,40 µg/L (Termas Romanas - Ref. 117) e 0,20 µg/L (Termas de Chaves AC1 - Ref. 126), desvio padrão de 0,14 µg/L, média e mediana de 0,30 µg/L e uma amostra na Galiza com o valor de 0,30 µg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130), o que representa um total de 3 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39). A média e a mediana do teor de selénio para a região da Península Ibérica apresentam ambas o valor de 0,30 µg/L, desvio padrão de 0.10 µg/L, sendo que o máximo (0,30 µg/L) pertence simultaneamente a Trás-os-Montes e à Galiza e o mínimo (0,20 µg/L) pertence a Trás-os-Montes.

O mercúrio não foi detectado em Trás-os-Montes, mas foi analisado em cinco amostras na Galiza, valor médio de 0,26 µg/L, desvio padrão de 0.05 µg/L, mediana de 0,30 µg/L, máximo de 0,30 µg/L (Termas das Caldeliñas - Ref. 128, Caldeliñas Furo I - Ref. 129 e Caldeliñas Furo II - Ref. 130) e mínimo de 0,20 µg/L (Fontenova - Ref. 120 e Fonte do Sapo II - Ref. 122), o que representa um total de 5 águas minerais analisadas para a região da Península Ibérica (Tabela 6.39).

Tabela 6.39 | Elementos menores e em traço nas águas minerais de Trás-os-Montes e da Galiza.: bromo, lítio, estrôncio, manganês, ferro, bário, zinco, cobre, níquel, chumbo, cobalto, crómio, alumínio, arsénio, cádmio, selénio e mercúrio.

Elementos Menores Catiões	Localização	Nº de Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Bromo (µg/L)	Trás-os-Montes	0	-	-	-	-	-
	Galiza	0	-	-	-	-	-
	Penísula Ibérica	**0**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**
Lítio (µg/L)	Trás-os-Montes	1	-	-	41,00	-	-
	Galiza	0	-	-	-	-	-
	Penísula Ibérica	**1**	**-**	**-**	**41,00**	**-**	**-**
Estrôncio (µg/L)	Trás-os-Montes	1	-	-	65,10	-	-
	Galiza	0	-	-	-	-	-
	Penísula Ibérica	**1**	**-**	**-**	**65,10**	**-**	**-**
Manganês (µg/L)	Trás-os-Montes	6	174,13	274,11	723,00	16,10	59,15
	Galiza	8	42,80	13,78	70,90	27,70	43,30
	Penísula Ibérica	**14**	**99,09**	**183,16**	**723,00**	**16,10**	**45,40**
Ferro (µg/L)	Trás-os-Montes	6	731,67	946,05	2490,00	50,00	360,00
	Galiza	8	478,75	612,20	1620,00	40,00	165,00
	Penísula Ibérica	**14**	**587,14**	**750,28**	**2490,00**	**40,00**	**175,00**
Bário (µg/L)	Trás-os-Montes	3	82,87	45,66	135,00	50,00	63,60
	Galiza	8	144,00	27,45	187,00	109,00	145,50
	Penísula Ibérica	**11**	**127,33**	**41,95**	**187,00**	**50,00**	**135,00**
Zinco (µg/L)	Trás-os-Montes	6	9,72	9,78	23,20	2,60	4,20
	Galiza	8	12,64	20,02	61,10	1,50	5,60
	Penísula Ibérica	**14**	**11,39**	**15,97**	**61,10**	**1,50**	**5,35**
Cobre (µg/L)	Trás-os-Montes	6	4,98	2,07	6,20	0,80	5,60
	Galiza	8	4,88	1,14	6,50	2,90	4,90
	Penísula Ibérica	**14**	**4,92**	**1,53**	**6,50**	**0,80**	**5,35**
Níquel (µg/L)	Trás-os-Montes	6	1,92	0,89	3,00	0,80	1,95
	Galiza	8	1,13	0,53	1,90	0,50	1,05
	Penísula Ibérica	**14**	**1,46**	**0,79**	**3,00**	**0,50**	**1,30**
Chumbo (µg/L)	Trás-os-Montes	6	0,14	0,08	0,26	0,06	0,13
	Galiza a	8	0,12	0,07	0,23	0,05	0,10
	Penísula Ibérica	**14**	**0,13**	**0,07**	**0,26**	**0,05**	**0.10**
Cobalto (µg/L)	Trás-os-Montes	6	0,27	0,30	0,82	0,02	0,19
	Galiza	8	0,14	0,13	0,36	0,01	0,10
	Penísula Ibérica	**14**	**0,20**	**0,22**	**0,82**	**0,01**	**0,13**
Crómio (µg/L)	Trás-os-Montes	1	-	-	4,00	-	-
	Galiza	0	-	-	-	-	-
	Penísula Ibérica	**1**	**-**	**-**	**4,00**	**-**	**-**

Alumínio (µg/L)	Trás-os-Montes	6	15,83	6,79	24,00	7,00	16,50
	Galiza	8	152,25	161,30	399,00	18,00	83,00
	Penísula Ibérica	**14**	**93,79**	**137,60**	**399,00**	**7,00**	**22,50**
Arsénio (µg/L)	Trás-os-Montes	6	62,62	47,74	127,00	16,20	46,10
	Galiza	8	34,77	31,86	84,30	2,76	29,25
	Penísula Ibérica	**14**	**46,71**	**40,35**	**127,00**	**2,76**	**35,75**
Cádmio (µg/L)	Trás-os-Montes	6	0,05	0,03	0,09	0,01	0,06
	Galiza	9	0,05	0,03	0,09	0,01	0,05
	Penísula Ibérica	**14**	**0,05**	**0,03**	**0,09**	**0,01**	**0,05**
Selênio (µg/L)	Trás-os-Montes	2	0,30	-	0,40	0,20	0,30
	Galiza	1	-	-	0,30	-	-
	Penísula Ibérica	**3**	**0,30**	**0,10**	**0,40**	**0,20**	**0,30**
Mercúrio (µg/L)	Trás-os-Montes	0	-	-	-	-	-
	Galiza	5	0,26	0,05	0,30	0,20	0,30
	Penísula Ibérica	**5**	**0,26**	**0,05**	**0,30**	**0,20**	**0,30**

6.10.4.5 | Sílica (SiO_2)

Na região da Península Ibérica foram analisadas seis amostras em Trás-os-Montes, valor médio de 49,93 mg/L, desvio padrão de 14,06 mg/L, máximo de 63,31 mg/L (Termas Romanas - Ref. 117), mínimo de 35,71 mg/L (Água Férrea das Eiras - Ref. 125) e mediana de 50,64 mg/L e oito amostras na Galiza, média de 45,74 mg/L, desvio padrão de 4,44 mg/L, máximo de 51,18 mg/L (Cabreiroá - Ref. 118), mínimo de 38,62 mg/L (Caldeliñas Furo II - Ref. 130) e mediana de 47,41 mg/L, o que perfaz um total de 14 águas analisadas (Tabela 6.40). O valor médio do teor de sílica para a região da Península Ibérica é 47,53 mg/L, desvio padrão de 9,55 mg/L e mediana de 47,41 mg/L, sendo que o máximo (63,31 mg/L) e o mínimo (35,71 mg/L) pertencem ambos a Trás-os-Montes.

Tabela 6.40 | Concentração de sílica (SiO_2) nas águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

	Localização	Nº de Amostras	Média	D.Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana (mg/L)
Sílica (mg/L)	Trás-os-Montes	6	49,93	14,06	63,31	35,71	50,64
	Galiza	8	45,74	4,44	51,18	38,62	47,41
	Penísula Ibérica	**14**	**47,53**	**9,55**	**63,31**	**35,71**	**47,41**

6.11 | FÁCIES HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DE TRÁS-OS-MONTES E GALIZA

A fácies hidrogeoquímicas predominante nas àguas minerais, analisadas, de Trás-os-Montes e Galiza é a bicarbonata sódica, com excepção da água Férrea das Eiras (Ref. 125) que apresenta uma fácies bicarbonatada calco-sódica (Figura 6.57).

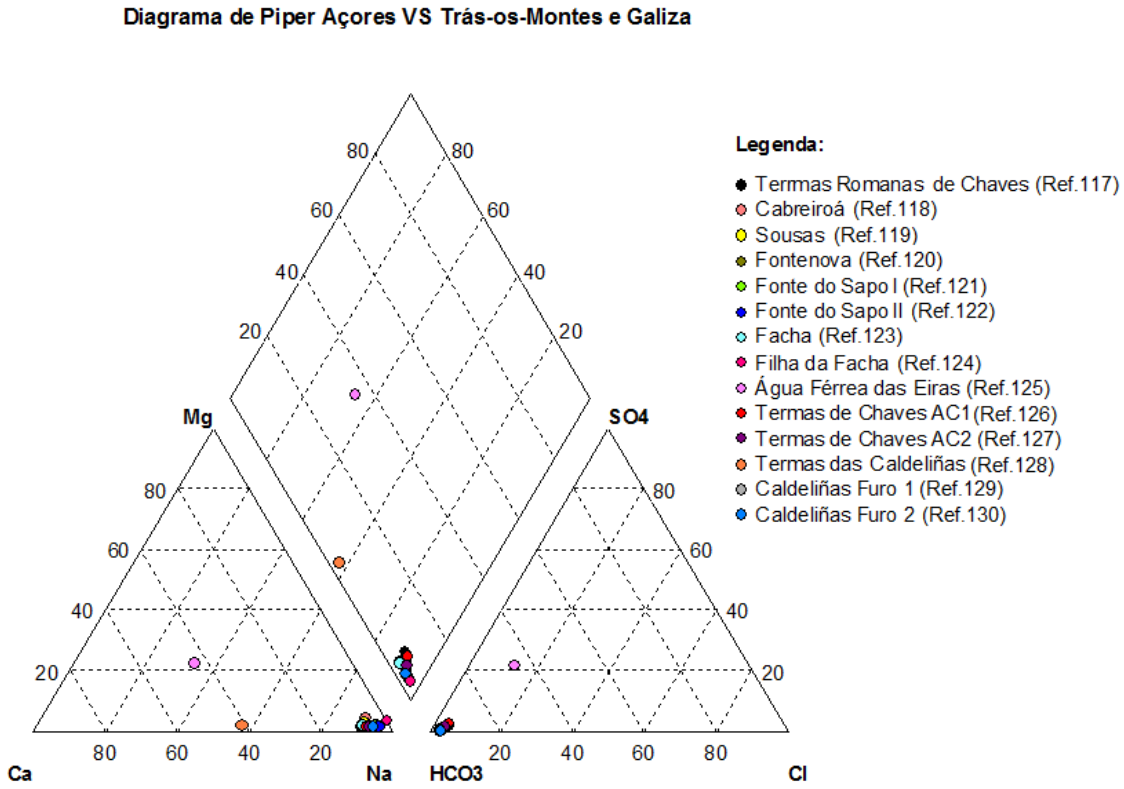


Figura 6.57 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

O diagrama de Schoeller mostra uma certa homogeneidade composicional e de mineralização com excepção dos pontos de água mineral: Água Férrea das Eiras (Ref. 125), Filha da Facha (Ref. 124) Termas das Caldeliñas (Ref. 128). Relativamente à Água Férrea das Eiras (Ref. 125) o diagrama mostra-nos uma composição química e uma mineralização muito distinta das restantes águas minerais analisadas. No que se refere ao ponto de água mineral Filha da Facha (Ref. 124) observa-se através do diagrama Scholler que a concentração em Ca^{2+} é bastante inferior às do mesmo catião para os restantes pontos de água mineral. Por fim, a água mineral das Termas das Caldeliñas (Ref. 128) apresenta um valor de concentração em cálcio (Ca^{2+}) muito superior na sua composição, face às restantes águas minerais projectadas neste diagrama para igual catião (Ca^{2+}) (Figura 6.58).

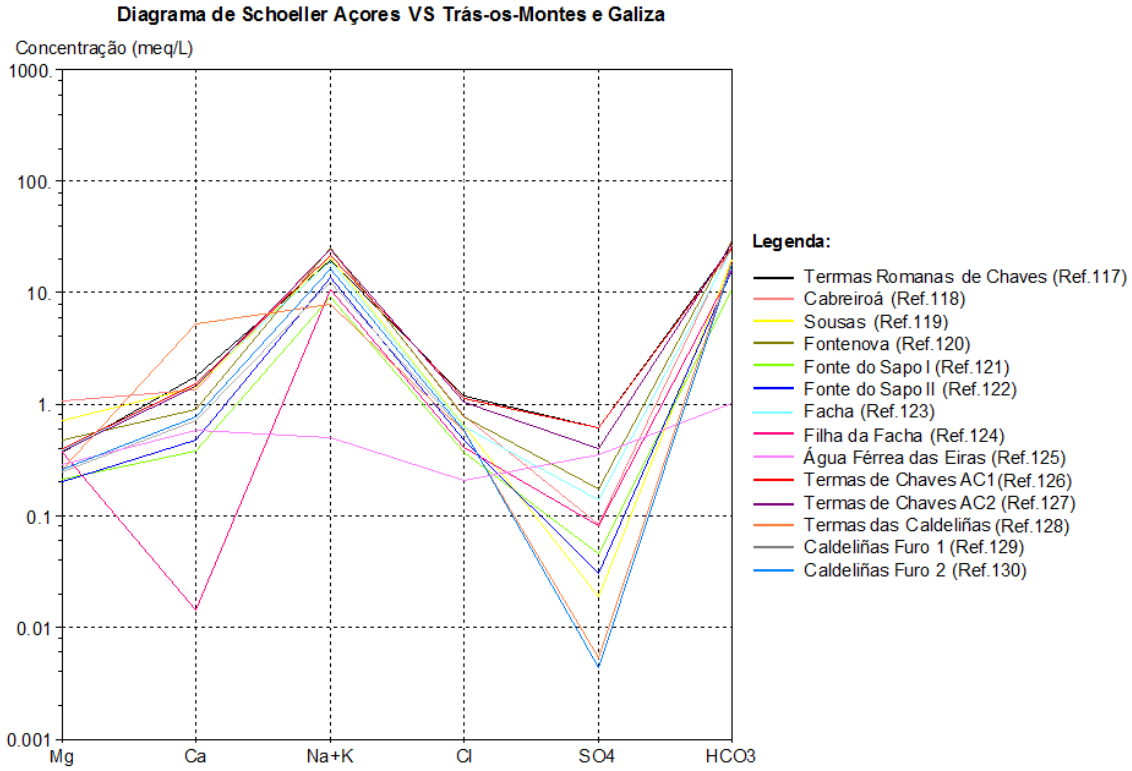


Figura 6.58 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

6.12 | CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA COMPARATIVA DAS ÁGUAS MINERAIS DO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES E AS ÁGUAS MINERAIS DE TRÁS-OS-MONTES E GALIZA

As águas minerais do arquipélago dos Açores apresentam fácies hidrogeoquímicas que correspondem genericamente a águas dos tipos bicarbonatada sódica e cloretada sódica, como também evidenciam, no geral, uma grande homogeneidade na composição química das águas minerais, situadas em cada uma das massas de água de São Miguel, respectivamente Furnas - Povoação, Água de Pau, Sete Cidades e das ilhas Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge, Pico e Flores.

As águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza analisadas (Zona de Fractura Penacova - Régua - Verín, troço Chaves - Verín) têm uma composição química semelhante, apresentando como fácies hidrogeoquímica a bicarbonatada sódica, com excepção da Água Férrea das Eiras (Ref. 125) que é do tipo bicarbonatada calco - sódica; estas águas mostram ainda uma certa homogeneidade composicional e de mineralização com excepção dos pontos de água: Filha da Facha (Ref. 124), Água Férrea das Eiras (Ref. 125), Termas das Caldeliñas (Ref. 128).

Assim para a caracterização hidrogeoquímica comparativa das águas minerais dos Açores e de Trás-os-Montes e Galiza (Figuras 6.59 e 6.60), podemos à *prioiri*, excluir as águas minerais cloretadas sódicas do arquipélago dos Açores, centrando a atenção nas bicarbonatadas sódicas existentes na ilha de São MIguel, nas massas de água Furnas - Povoação e Água de Pau e nas ilhas São Jorge e Flores que apresentam uma fácies hidrogeoquímica predominante igual à dos pontos de água de Trás-os-Montes e Galiza (Z.F.P.R.V, troço Chaves - Verín).

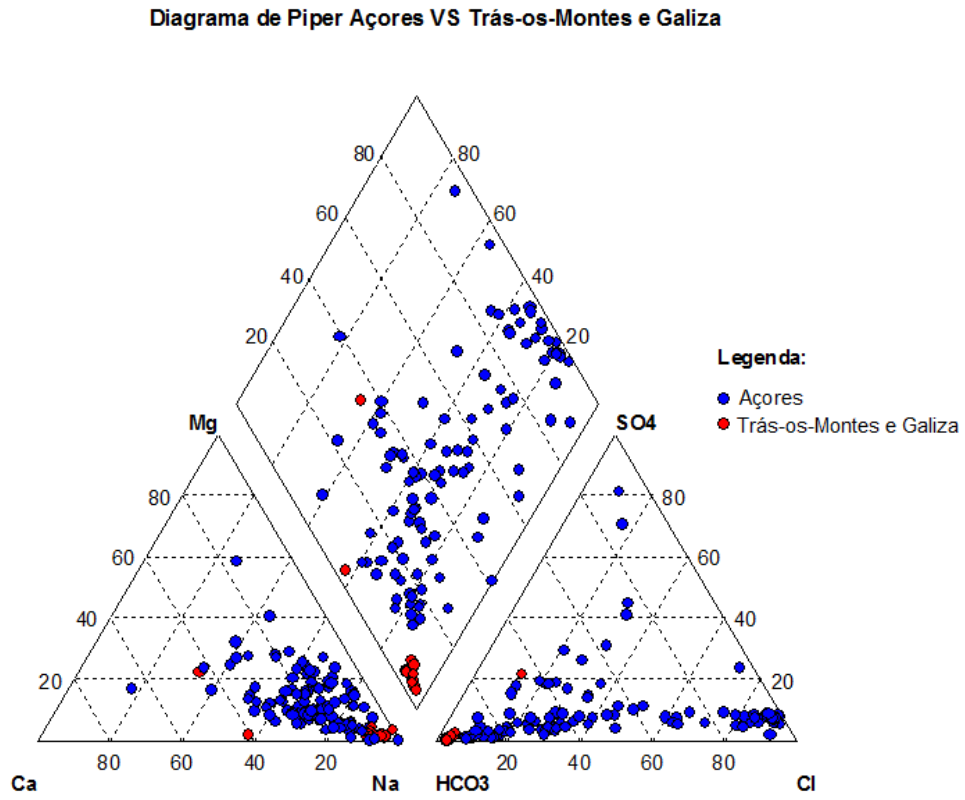


Figura 6.59 | Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais dos Açores e de Trás - os - Montes e Galiza.

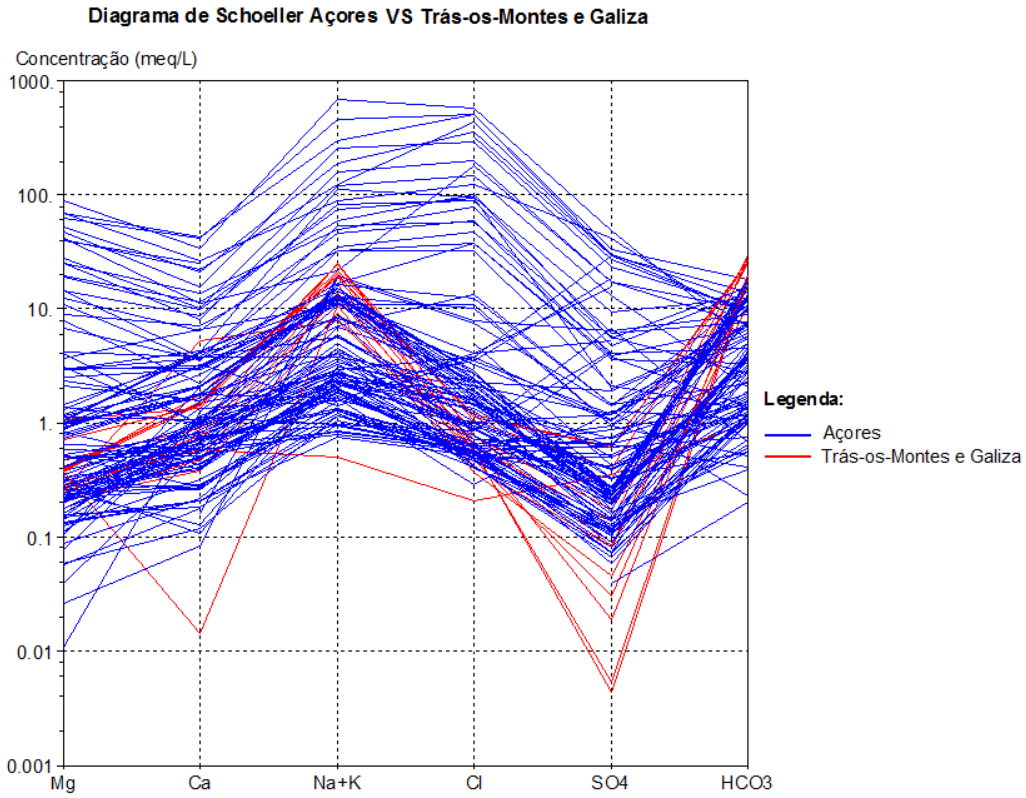


Figura 6.60 | Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais dos Açores e de Trás-os-Montes e Galiza.

Entre as águas bicarbonatadas sódicas do arquipélago dos Açores com base nos critérios de condutividade eléctrica e de pH, encontram-se como mais semelhantes às de Trás-os-Montes e Galiza, os seguintes pontos de água mineral: Quenturas I (Ref. 12), Quenturas III (Ref. 14), Torno (Ref. 17), Grutinha I (Ref. 18), Grutinha II (Ref. 19), Água da Poça (Ref. 20), Morangueira (Ref. 21), Banhos Férreos I balneário (Ref. 22), Banhos Férreos I nascente (Ref. 23), Banhos Férreos II (Ref. 24), Banhos Férreos III (Ref. 25), Banhos Férreos IV (Ref. 26), Água Férrea (Ref. 27), Ribeira Quente III (Ref. 49) e Água Azeda do Fogo (Ref. 50), todas pertencentes à massa de água Furnas - Povoação, e ainda os pontos de água mineral das Flores, respectivamente Poio Moreno (Ref. 86) e Lajedo (Ref. 87).

Embora com valores de condutividade eléctrica e de pH, expressivamente mais baixos que os anteriores, mas com base no teor de CO_2 livre, semelhante ao de duas das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza respectivamente Cabreiroá (Ref. 118) e Água Férrea das Eiras (Ref. 125) seleccionaram-se os pontos de água mineral das Lombadas nascente (Ref. 60), Lombadas Furo I (Ref. 61), Lombadas Furo II (Ref. 62, Lombadas II (Ref. 64) e Lombadas "doce" (Ref. 64), todas pertencentes à massa de água, Água de Pau da ilha de São Miguel. As quatro primeiras apresentam, tal como a

nascente de Cabreiroá (Ref. 118) elevado teor de CO_2 livre, enquanto Lombadas "doce" (Ref. 63) tem tal como Água Férrea das Eiras (Ref. 125), um teor de CO_2 livre muito reduzido.

As semelhanças encontradas entre as águas bicarbonatadas sódicas do arquipélago dos Açores e as de Trás-os-Montes e Galiza, contrapõem-se às diferenças que podem explicar-se pela origem muito diferente das rochas por onde circulam estas águas. Nos Açores as rochas são de génese vulcânica, e em Trás-os-Montes e Galiza as rochas são de génese plutónica, em ambos os casos em sentido lato.

As águas minerais bicarbonatadas sódicas do arquipélago dos Açores referenciadas anteriormente têm pH ligeiramente ácido, um pouco inferior (valor médio de 6,10) ao do pH das águas de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 6,62). A condutividade eléctrica embora elevada é notoriamente inferior (valor médio de 1196,77 µS/cm) à condutividade eléctrica das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 1886,50 µS/cm). Exceptua-se o ponto de água mineral Lombadas "doce" (Ref. 63) de condutividade eléctrica muito baixa (122 µS/cm) semelhante à Água Férrea das Eiras (Ref. 125), de condutividade igual a 202 µS/cm, sendo de assinalar que ambas apresentam um pH igual a 6,35.

Em relação à concentração de CO_2 livre observa-se que os pontos de água mineral dos Açores, anteriormente seleccionados apresentam um valor muito superior (valor médio de 460,45 mg/L) ao dos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 249,63 mg/L), com excepção de Cabreiroá (Ref.118) cujo teor de CO_2 é de 807,0 mg/L.

No que concerne ao parâmetro temperatura (ºC), os pontos de água mineral dos Açores, referidos anteriormente, apresentam uma temperatura superior (valor médio de 36,44 ºC) ao dos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 27,04 ºC), onde apenas se destacam com elevada temperaura os pontos das Termas Romanas (Ref. 117) (62,7ºC), Termas de Chaves AC1 (Ref. 126) (63,9ºC) e Termas de Chaves AC2 (Ref. 127) (67,4ºC).

Relativamente catiões verifica-se que embora os pontos de água mineral do arquipélago dos Açores, considerados para o estudo comparativo, apresemtam um teor de Na^+ inferior (valor médio de 202,57 mg/L) aos de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 359,85 mg/L), as concentrações em K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} são em geral superiores (valores médios, respectivamente iguais a 33,49 mg/L44,81 mg/L e 17,13

mg/L) aos de Trás-os-Montes e Galiza (valores médios respectivamente iguais a 21,09 mg/L, 28,08 mg/L e 4,94 mg/L).

Quanto aos elementos maiores, aniões constata-se que o teor de HCO_3^- nas águas minerais dos Açores é notoriamente inferior (valor médio de 642,65 mg/L) ao das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 1229,32 mg/L). O mesmo acontece com o teor de F^- nas águas minerais dos Açores, cujo valor médio (2,87 mg/L) também é inferior face ao valor médio das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza (9,15 mg/L).

O teor de SiO_2 das águas minerais da região Autónoma dos Açores é expressivamente superior (valor médio de 142,72 mg/L) ao teor de SiO_2 das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza (valor médio de 47,53 mg/L).

Entre os elementos menores e em traço escolheram-se como mais significativos para a caracterização hidroquímica comparativa das águas minerais dos Açores, seleccionadas anteriormente e as águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza, os elementos manganês (Mn) e alumínio (Al), por serem os que apresentam teor mais elevado nas águas minerais a comparar, e o ferro (Fe), o bário (Ba) e o arsénio (As), por que contrariamente ao que acontece com os elementos anteriores, apresentam em Trás-os-Montes e Galiza teores superiores, em média, aos determinados para os Açores.

Assim, relativamente ao manganês (Mn) e ao alumínio (Al) verifica-se que os pontos e água mineral dos Açores apresentam genericamente teores superiores (valores médios iguais a 1009,20 µg/L e 211,55 µg/L), aos dos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza (valores médios iguais a 99,08 µg/L e 93,79 µg/L). No que diz respeito ao ferro (Fe), ao bário (Ba) e ao arsénio (As) constata-se que as águas minerais dos Açores apresentam teores inferiores (valores médios de 404,29 µg/L, 24,54 µg/L e 17,3 µg/L respectivamente) aos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza (valores médios iguais a 587,14 µg/L, a 127,33 µg/L e a 46,71 µg/L).

7 | DETERMINAÇÃO DE FLUXOS ELEMENTARES NO ESCOAMENTO DE SUPERFÍCIE E SUBTERRÂNEO

7.1 | PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA - *FLUVIAL GEOCHEMISTRY IN SÃO MIGUEL ISLAND (AZORES, PORTUGAL): SOURCE AND FLUXES OF INORGANIC SOLUTES IN AN ACTIVE VOLCANIC ENVIRONMENT*

Fluvial geochemistry in São Miguel island (Azores, Portugal): source and fluxes of inorganic solutes in an active volcanic environment

Freire, P, C Andrade, R Coutinho, JV Cruz

Redrafted from : Science of the Total Environment 454-455 (2013):145-169

ABSTRACT

River water chemistry in two of the major rivers in São Miguel Island (Azores archipelago, Portugal) has been characterized monthly between June 2010 and October 2011 in order to estimate the main geochemical processes that explain water composition and to estimate solute fluxes and the thermal water input to rivers. Both rivers (Ribeira Grande - RRG and Ribeira Quente - RRQ) drain active trachytic central volcanoes. The number of sampling stations is seven in RRG and six in RRQ.

Rivers are mainly slightly acid to basic in nature (pH in the range 5.41-8.70 in RRG and 5.90-8.10 in RRQ) and from the Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl water types. In both cases water temperature increases towards the river mouth and median values are slightly higher in Ribeira Quente (15.5-22.4ºC) comparing to Ribeira Grande river (15.2-19.7ºC). Electrical conductivity suggests poorly mineralized waters (139-456 µS/cm in RRG and 209-402 µS/cm in RRQ, and values increase downstream.

Higher solute fluxes are associated to HCO_3 and Na, and the total CO_2 flux is equal to 3647 t/yr in RRQ and 7546 t/yr in RRG. Mixture with thermal water discharges also influences river water chemistry and in RRQ the contribution to the annual average discharge rate was estimated in 2.96×10^6 m^3/yr (12.8% of overall discharge rate in the watershed). In RRG thermal water discharges were estimated in 2.4×10^6 m^3/yr (14.9% of the discharge rate). The minimum total CO_2-consumption associated with low-temperature weathering is equal to 0.58×10^6 mol/km^2/yr in Ribeira Quente river and equal to 0.78×10^6 mol/km^2/yr in Ribeira Grande river.

1. INTRODUCTION

River water chemistry has been characterized worldwide as shown by the extensive reviews provided in the international literature (Meybeck 2005; Gaillardet et al. 2005), and due to the importance of this subject several studies were made in major watersheds (Stallard and Edmond 1983; Stallard 1985; Meybeck 1986; Edmond et al. 1995, 1996; Dupré et al. 1996; Elbaz-Poulichet et al. 1999). As water chemistry in river systems is controlled by several natural factors as lithology, climate, land use and vegetation, such as well as the runoff pattern itself (Meybeck 1994; Bluth and Kump 1994; Drever 1994; White and Blum 1995), riverine chemistry is highly variable, with a very large range of natural

compositions, and ionic concentrations and yields may vary two to thre orders of magnitude (Meybeck 2005).

Gibbs (1970) defined a general model in order to accommodate this chemical diversity regarding three main types of waters according to the dominant processes: atmospheric precipitation-dominated and evaporation/crystallization-dominated compositions, both depicting Na and Cl as major ions, and weathering-dominated waters, in which Ca and HCO_3 are the major ions. Despite the fact that the Gibbs model can explain about 80% of the river waters, other models have been proposed considering more water types, although some concerns about the representativeness of the data bases are still unresolved (Meybeck 2005).

Cumulatively to natural processes, river water chemistry is also controlled by anthropogenic sources, mainly associated to uncontrolled discharges of wastewater (Old et al. 2006; Robson et al., 2006) and agriculture pollution, which was also subject of several studies (Meybeck and Helmer 1989; Neal et al. 2006; Edwards and Hooda 2008; Chen et al. 2008; Jarvie et al. 2008).

The relationship between well-known active volcanic areas and the fate of inorganic solutes have also been the subject of specific studies (Hurwitz et al. 2010; McCleskey et al. 2010a, 2010b). In the last decades a main effort was also made in order to characterize weathering contribution to river water chemistry, estimating dissolved loads in volcanic regions worldwide and the associated CO_2-consumption (Gislason et al. 1996; Louvat and Allègre 1997; Stéfanson and Gislason 2001; Rad et al. 2007; Hartmann 2009; Goldsmith et al. 2008, 2010; Schopka et al. 2011). The CO_2-consumption pointed out in those studies show a large range of values: $1.1x10^6$-$4.1x10^6$ mol/km^2/yr (Réunion island; Louvat and Allègre 1997), $0.85x10^6$-$3.4x10^6$ mol/km^2/yr (Taranaki, New Zealand; Goldsmith et al. 2008), $0.14x10^6$-$1.8x10^6$ mol/km^2/yr (Iceland; Stéfanson and Gislason 2001), $0.33x10^6$-$0.46x10^6$ mol/km^2/yr (Kamachatka Peninsula (Russia; Dessert et al. 2009) and $0.19x10^6$-$1.6x10^6$ mol/km^2/yr (Dominica, Lesser Antilles; Goldsmith et al. 2010).

If to the previous values the amount of CO_2-consumption associated to weathering due to groundwater circulation is to be added, the total chemical weathering fluxes from volcanic islands will be higher, as shown in Hawaii (Schopka and Derry 2012) and in Lesser Antilles and Réunion islands (Rad et al. 2011). As an example, in Hawaii island, CO_2-consumption explained to river water is equal to 965 mol/yr, while adding groundwater discharge is as high as 1475 mol/yr (Schopka and Derry 2012).

Regarding fluvial geochemistry in the Azores, and namely in São Miguel Island, only a few studies were made to present date about geochemical fluxes (Louvat and Allègre 1998; Strandmann et al. 2010) and water quality problems in the EU Water Framework Directive context (Cruz et al. 2010a). Louvat and Allègre (1998) estimated the CO_2-consumption associated to weathering in three watersheds in São Miguel as high as $0.87x10^6$ mol/km^2/yr ($0.26x10^6$-$0.87x10^6$ mol/km^2/yr), a range in the same order of magnitude of the value determined by Van der Weijden and Pacheco (2003) in the

Madeira island, from an archipelago in the same biogeographic region of the Azores (Macaronesia). Therefore, the present study constitutes the largest array of data collected to the present, through the completion of monthly sampling in two major rivers of São Miguel during 17 months.

The archipelago of the Azores consists of nine islands of volcanic origin located in the North Atlantic Ocean, between 37° to 40°N latitudes and 25° to 31°W longitudes, presenting an area of 2,333 km^2 and 246,746 inhabitants (2011). São Miguel Island is located between 37º55´N to 37º04´N of latitude and 25º52´W to 25º08´W of longitude, and has an area of about 747 km^2 and 137,830 inhabitants (year 2011) (Fig. 1).

The objective of the present paper is to characterize the major-ion river water chemistry in two of the major rivers in São Miguel Island (Ribeira Grande and Ribeira Quente). Therefore, this study was made in order to (a) characterize river water composition regarding both spatial and temporal variations, (b) evaluate major chemistry change drivers, regarding natural (i.e. hydrothermal) and human-induced pressures, and (c) estimate solute fluxes and the thermal water input to river water chemistry.

2. GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL SETTING

2.1. Geology of São Miguel Island

São Miguel geology is dominated by three volcanic centers, which correspond to the major active trachytic central volcanoes of Fogo, Sete Cidades, and Furnas, linked by rift zones. During the last 5,000 years the activity of the three active central volcanoes is shown by 57 volcanic eruptions (Booth et al. 1978).

Fogo volcano is located in the central part of São Miguel, corresponding to a central volcano with the summit truncated by a caldera, about 3 km in diameter and with walls as high as 300 m (Moore 1990). The depression floor is partially occupied by the Fogo lake. The flanks of the volcano are very thickly mantled with pyroclastic deposits (Booth et al. 1978). However, it is possible to observe that there are many satellite scoria cones and domes on those slopes.

The central volcano was built by the accumulation of lava flows, domes and pyroclastic deposits, mainly of trachytic nature (Wallenstein 1999). In the last 4,000 yr the growth of the volcano was dominated by explosive eruptions, mainly intracaldera, which produced pumice fall deposits, pyroclastic flows, surges and mud flows, intercalated with more effusive or moderately explosive eruptions on satellite centers on the volcano slopes. The most recent eruptions in the Fogo volcano summit are dated from 1563 AD and 1564 AD, and belong to a group of seven explosive eruptions of trachytic nature that took place in the last 5,000 yr (Booth et al. 1978). Contemporary, more basic eruptions took place on the volcano slopes, and the most recent of those flank events occurred in 1563 AD at Pico do Sapateiro.

Furnas is the easternmost of the three active composite volcanoes on São Miguel. This volcano is bounded to the west by the Povoação caldera, which corresponds to an older and presently inactive volcano, and is to the east of the Fogo volcano. The Furnas volcanic center summit has subsided in several stages of caldera collapse (Guest et al. 1999). An 8x5 km diameter older caldera, corresponding to a 290-m-depth depression, encloses a younger caldera about 6x3.5 km across. Two smaller subsidence events took place within the younger caldera in the last 5,000 years (Guest et al. 1999).

The growth of the Furnas central volcano started about 100,000 years ago, mainly as a result of eruptions of trachytic pumice (Moore 1990). In the last 5,000 years, at least ten explosive eruptions took place in Furnas, two of which were accompanied by extrusion of trachytic domes (Booth et al. 1978), corresponding with the major event of the Furnas C deposit (Pacheco 1995). The last eruption at Furnas, dated at 1630 AD, occurred in the southern part of the caldera and had an explosive phase which produced a tuff/pumice ring complex (Cole et al. 1995).

2.2. Hydrology of São Miguel island

The average annual precipitation in São Miguel is equal to 1,722 mm (DROTRH/INAG 2001). The seasonal distribution is revealed by a rainy season - for example, at Ponta Delgada 76.3% of the total precipitation (average annual precipitation of 958 mm) occurs between September and March.

Average annual runoff in São Miguel is equal to 686 mm, corresponding to a total discharge of 5.11×10^8 m^3/yr (DROTRH/INAG 2001). Surface discharge occurs mainly in the composite volcanoes of São Miguel, namely in the westernmost area of the island (Sete Cidades) and in the central-east part (Fogo, Furnas, Povoação, and Nordeste).

3. METHODOLOGY

Stream waters were monthly sampled in selected stations located in the so-called Ribeira Grande and Ribeira Quente rivers, both draining active trachytic central volcanoes, between June 2010 and October 2011 (Fig. 1). Along Ribeira Grande seven sampling stations were selected, from the river mouth to upstream, according to the land use and hydrothermal influences in the watershed, while in Ribeira Quente river samples were collected in six stations.

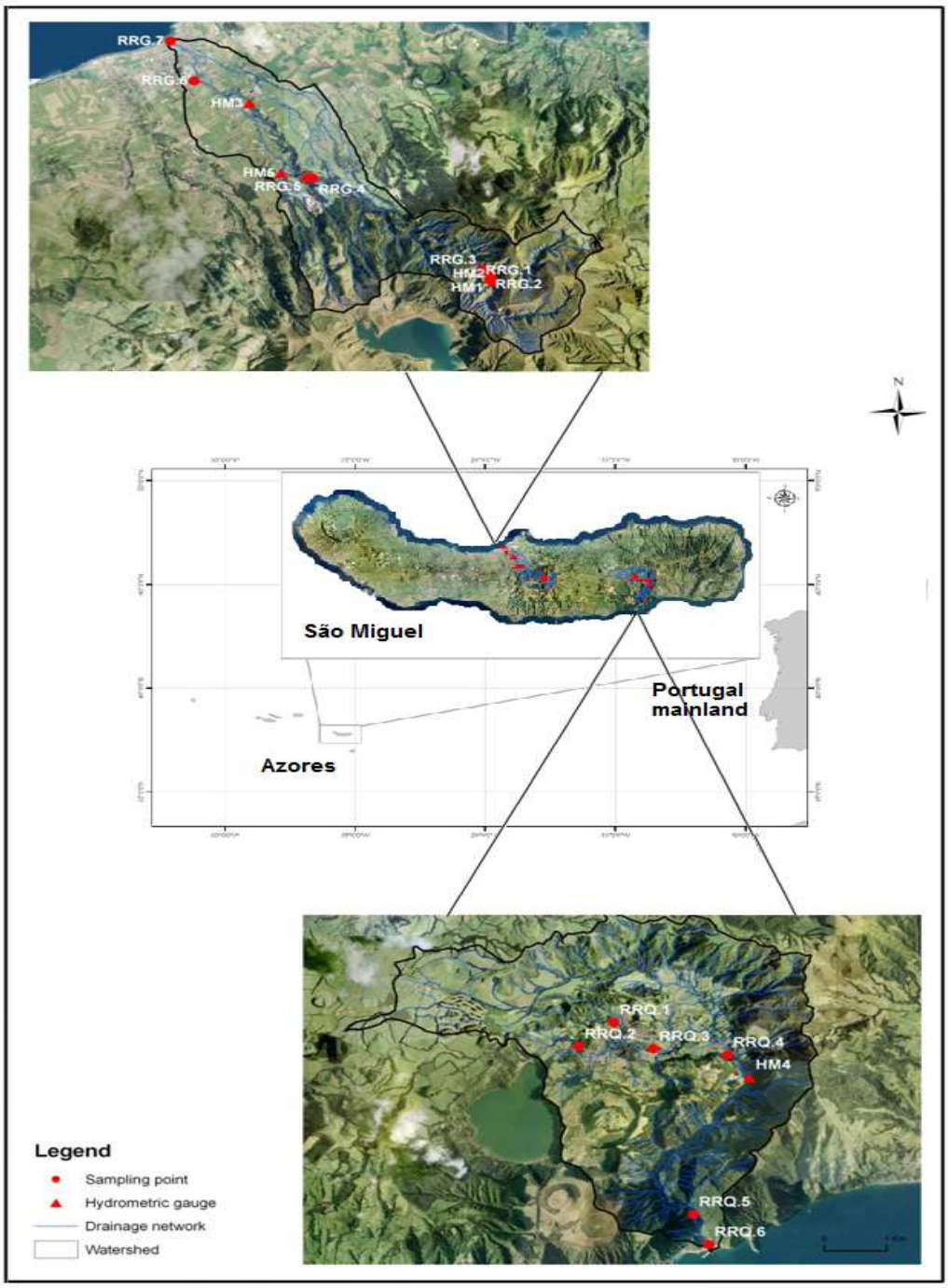


Figure 1 – Location of sampling stations in Ribeira Grande (RRG1 - RRG7) (top) and Ribeira Quente (RRQ1 RRQ6) (bottom) rivers. HM1 (Lombadas), HM2 (Rosário), HM3 (Ribeira Grande), HM4 (Lombo Frio) and HM5 (Pernada) are automatic gauging stations run by the environmental authorities.

Temperature, pH and electrical conductivity measurements, as well as free CO_2 and alkalinity titrations, were conducted in the field with specific portable equipment. Analytical methods were as follows: atomic absorption spectrometry was used for cation analysis, while ionic chromatography was applied for anions determination, in both cases after sample filtration in the field through 0.45 μm filters in order to remove suspended material. Samples for atomic absorption analysis were acidified

with Suprapur® nitric acid (65% HNO_3) immediately after sampling, in order to prevent precipitation and avoid sorption to the container. Silica was analysed by spectrophotometry, using the silicomolybdic method.

Ribeira Grande river drains out Fogo central volcano and is located in the northern flank of the volcanic edifice which occupies a central position in the Island. The watershed has an area of 18.4 km^2 (2.5% of the island surface), an average discharge estimated in $16.4x10^6$ m^3/yr, and the major land use classes are pasture plus agriculture areas (35.4%), natural vegetation (32.2%) and forest land (26.7%) (Cruz et al. 2010a).

Ribeira Quente river drains out Furnas central volcano, and is located in the south coast, in the central-east sector of the Island. The watershed has an area of 26.2 km^2 (3.5% of the island surface), an estimated discharge of $23.1x10^6$ m^3/yr, and pasture and forest lands are the major land use drivers, respectively equal to 39.9% and 39.3% (Cruz et al. 2010a).

In both watersheds hydrothermal manifestations of volcanic origin are located, corresponding to cold carbonated and thermal mineral water discharges, fumaroles and diffuse gaseous emanation areas, whose geochemical character have been the subject of previous studies (Cruz et al. 1999, 2010b; Cruz and França 2006; Ferreira and Oskarsson 1999; Cruz et al. 2010b; Viveiros et al 2010). Mineral waters in the Azores can be classified along four main groups (Cruz and França 2006): two groups corresponds to discharges from perched-water bodies, and mainly are represented by Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl type waters, comprising cold, thermal (27ºC-75ºC) and boiling waters (92.2ºC-93.2ºC), group 3 is made of very acid samples of dominated Na-SO_4 composition, and group 4 is representative of discharges from the basal aquifer system and of Na-Cl type waters. The higher temperatures are observed in waters from boiling pools in fumarolic fields, which show a low Cl/B comparing to seawater ratio, representing the “hydrothermal” source (Cruz et al. 2010b).

The daily average discharge from October 26th to December 26th 2011 was estimated from data recorded automatically in a 10 minutes-interval basis in gauging stations run by the Azores environmental authorities (Fig. 2). In the gauging station HM3 data collection was interrupted from November 22th 2010 to December 16th for operational reasons. A contrast between an annual period of high discharge values, from November to March, is depicted by the hydrographs, comparing to a lower discharge rate period from April to October, reflecting the rain annual distribution pattern. Nevertheless, even in the low-water period it was possible to observe episodes of high-discharge rates, reflecting days of intense precipitation.

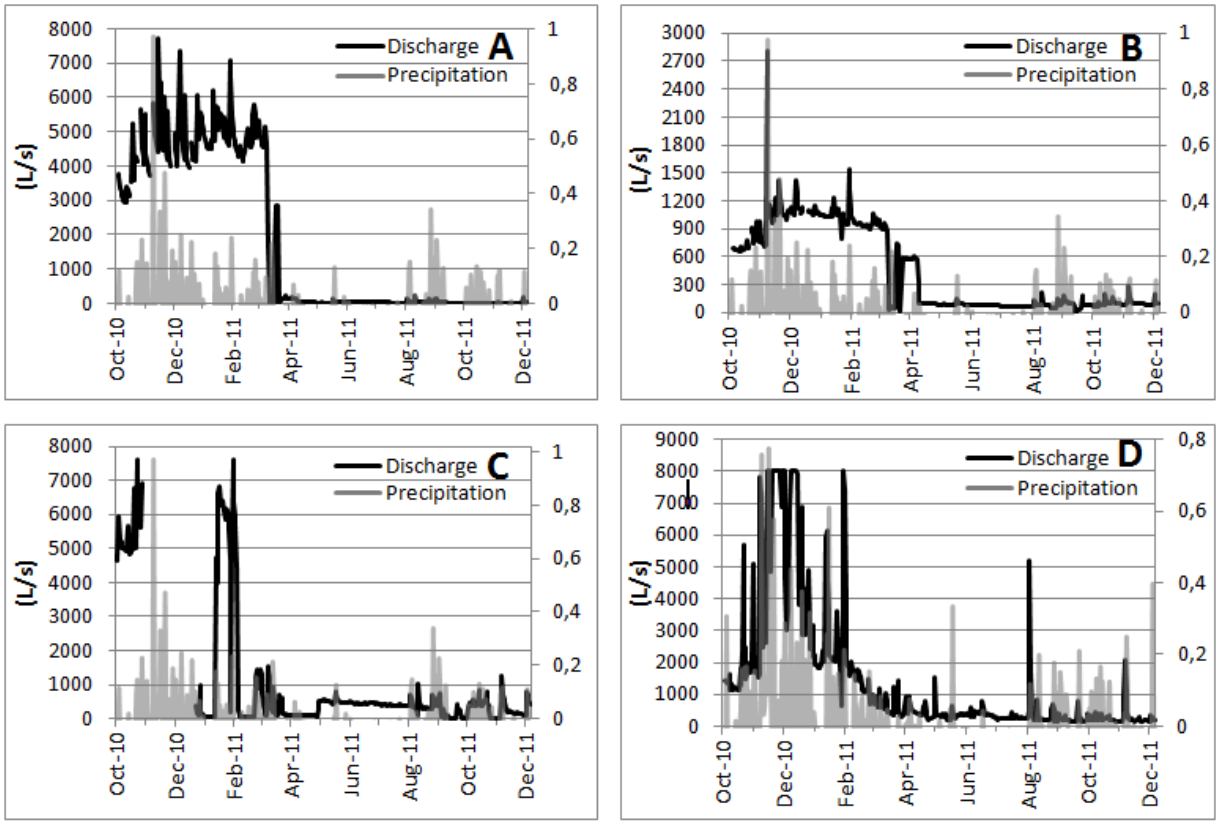


Figure 2 - Average daily discharge rates measured in the gauging stations of Ribeira Grande (HM1 - HM3) and Ribeira Quente (HM4). Daily precipitation is also shown for Fogo and Furnas watersheds (data respectively from Salto do Cabrito and Lagoa das Furnas rain gauges).

4. RESULTS

The major-ion composition statistical data (maximum; minimum; average; median), as well as results for master variables (temperature, pH, electrical conductivity; dissolved CO_2) and SiO_2 content, are reported in Table 1.

River waters are mainly slightly acid to basic in nature, with pH values in the range of 5.41 to 8.70 in Ribeira Grande and 5.90 to 8.10 in Ribeira Quente. In Ribeira Grande river the lowest values were measured at sampling stations RRG1, RRG2, RRG3, located upstream at higher altitude, and the higher values correspond to RRG7, located near the river mouth. Ribeira Quente depicts a slightly different trend, as the lower values were measured in RRQ2, RRQ3 and RRQ4, located in a middle altitude section of the river basin.

Median water temperature values are slightly higher in Ribeira Quente (15.0 - 22.9ºC) comparing to Ribeira Grande results, that depict a lower amplitude range of 15.2 to 19.6ºC. Despite that in both cases water temperature increases toward the river mouth, in Ribeira Quente the highest value corresponds to RRQ5 (median=22.9ºC), at a distance of about 785 m from the river mouth.

Table 1 - River chemical data statistics: main variables (temperature, pH, electrical conductivity, dissolved CO_2) and major-ion composition (Min. - minimum; Max. - maximum).

Ref	River	Statistics	T	pH	Cond.	CO_2	HCO_3	F	Cl	NO_3	SO_4	Na	Mg	K	Ca	SiO_2
			°C		µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RRG1		Mín.	10.30	5.69	77.00	7.90	9.80	0.01	9.31	0.39	1.56	6.52	0.49	2.51	1.66	31.64
		Max.	19.40	7.37	244.00	92.00	52.50	0.08	16.30	1.44	4.20	23.93	2.10	11.15	4.42	68.57
		Average	15.22	6.23	134.71	24.79	25.96	0.04	11.89	0.77	2.48	17.22	1.45	6.41	3.03	52.64
		Median	15.20	6.16	139.00	11.00	22.00	0.05	11.31	0.64	2.34	19.19	1.43	6.06	3.11	54.17
RRG2		Mín.	12.10	5.41	119.00	6.20	24.40	0.01	10.55	0.31	1.64	6.09	0.75	5.39	1.97	48.08
		Max.	22.00	6.82	307.00	91.30	145.80	0.51	15.30	1.14	4.80	42.47	3.51	15.12	7.92	96.21
		Average	15.61	6.04	189.76	41.47	62.01	0.23	12.08	0.88	3.04	21.85	2.10	9.66	4.73	68.22
		Median	15.90	6.03	154.00	43.60	58.00	0.24	11.99	0.70	2.67	20.36	1.95	8.23	4.57	58.94
RRG3		Mín.	13.00	5.73	139.00	10.60	25.00	0.03	10.36	0.39	1.85	11.10	1.07	6.25	0.68	10.56
		Max.	19.60	6.89	241.00	73.50	93.30	0.16	16.00	1.32	3.81	31.24	2.51	12.66	6.20	69.36
		Average	15.88	6.15	180.59	46.54	70.69	0.12	11.88	0.71	2.67	22.77	1.87	9.06	3.86	58.09
		Median	15.50	6.12	181.00	44.90	75.60	0.15	11.45	0.53	2.53	24.57	1.92	8.96	4.29	61.13
RRG4	Ribeira Grande	Mín.	13.30	6.13	228.00	0.30	23.80	0.44	11.55	0.38	4.25	35.31	2.73	8.64	6.40	63.47
		Max.	22.90	8.02	409.00	13.80	231.80	0.73	29.80	3.58	7.69	63.88	5.92	18.51	12.89	88.45
		Average	17.34	7.09	342.41	6.49	149.61	0.56	17.60	1.05	5.91	46.06	4.43	12.50	9.91	74.28
		Median	17.50	7.14	347.00	6.10	156.20	0.53	16.63	1.20	5.90	41.69	4.67	11.91	9.85	72.16
RRG5		Mín.	13.40	6.22	311.00	3.80	23.80	0.59	15.25	0.38	4.86	37.55	2.79	9.46	6.34	23.55
		Max.	21.10	7.80	571.00	28.40	231.80	1.23	62.16	1.42	11.00	80.10	5.95	19.85	14.32	91.00
		Average	17.12	7.01	418.76	15.92	166.50	0.90	29.36	0.58	7.45	59.26	4.62	14.48	10.54	74.21
		Median	17.50	7.01	417.00	14.40	164.10	0.85	21.70	0.82	7.22	59.35	4.87	14.47	10.37	77.77
RRG6		Mín.	13.90	6.32	332.00	1.10	28.67	0.72	19.51	0.58	5.92	9.65	2.51	12.60	5.70	22.70
		Max.	25.20	8.70	663.00	19.80	226.30	1.13	69.60	14.52	15.00	87.99	5.72	19.72	13.35	84.00
		Average	18.45	7.38	456.59	4.62	155.22	0.98	44.18	1.34	8.50	60.93	4.35	15.31	10.16	69.67
		Median	18.00	7.51	443.00	3.00	158.60	1.07	42.66	1.64	8.22	69.90	4.74	14.31	10.28	73.96
RRG7		Mín.	13.90	6.48	335.00	0.40	98.82	0.74	19.02	0.97	2.70	6.69	2.93	10.90	5.88	21.15
		Max.	29.10	8.32	561.00	16.80	239.70	1.20	71.33	4.62	12.37	86.67	5.68	19.64	12.87	88.70
		Average	19.67	7.78	465.06	5.34	149.31	0.98	46.63	2.22	8.18	61.82	4.52	14.75	10.30	71.43
		Median	19.60	7.90	456.00	2.60	133.60	1.04	49.14	1.91	8.21	70.11	4.78	14.50	10.42	76.12
RRQ1		Mín.	13.30	6.36	189.00	1.90	9.76	0.07	14.38	4.71	1.70	30.08	0.79	13.69	5.41	41.12
		Max.	21.10	7.99	226.00	14.20	102.50	0.47	26.61	11.31	7.23	50.17	4.39	19.26	34.81	83.42
		Average	15.51	7.33	208.94	5.85	68.16	0.19	16.54	6.58	4.85	37.91	2.72	16.20	8.22	58.14
		Median	15.00	7.42	209.00	4.60	76.20	0.16	15.72	5.91	4.52	35.98	2.75	16.23	6.01	55.76
RRQ2		Mín.	13.70	6.16	207.00	3.80	56.10	0.09	14.43	3.34	3.20	27.18	1.14	11.18	2.93	59.18
		Max.	26.60	7.78	358.00	39.10	154.90	0.73	28.34	15.89	8.47	71.18	3.51	31.54	32.78	88.25
		Average	18.85	6.81	268.24	19.49	85.47	0.49	19.12	6.53	6.57	49.32	2.27	20.87	8.69	75.50
		Median	17.70	6.83	252.00	19.20	76.90	0.54	17.28	6.08	6.83	44.69	2.24	20.12	6.77	73.97
RRQ3	Ribeira Quente	Mín.	16.20	6.37	231.00	4.60	70.80	0.21	18.28	1.10	4.69	22.70	2.25	9.08	6.33	37.16
		Max.	23.50	7.77	344.00	25.80	126.90	0.77	26.74	6.04	14.50	62.09	4.62	18.71	67.45	75.62
		Average	19.94	7.11	275.18	15.08	99.12	0.33	21.61	3.52	6.02	48.70	3.46	15.82	11.45	53.71
		Median	20.30	7.10	277.00	13.60	98.80	0.31	21.63	3.35	5.32	51.42	3.57	16.96	7.94	55.08
RRQ4		Mín.	16.90	5.90	259.00	5.50	46.40	0.35	19.77	1.39	5.66	38.75	3.18	11.65	7.66	44.55
		Max.	26.10	7.70	427.00	61.00	189.10	0.74	32.00	10.54	8.31	84.61	7.23	29.27	83.84	87.02
		Average	20.89	6.91	328.59	21.62	130.01	0.50	23.45	3.39	6.84	62.14	4.56	18.45	18.43	61.18
		Median	21.10	6.97	320.00	21.00	121.40	0.48	22.40	2.74	6.66	66.34	4.18	18.39	15.16	59.90
RRQ5		Mín.	15.80	6.57	300.00	3.20	49.40	0.31	15.71	0.79	5.82	45.71	2.57	11.28	8.38	47.01
		Max.	30.00	8.10	932.00	18.20	348.30	2.08	106.41	8.27	30.20	201.22	13.02	41.08	60.92	114.00
		Average	22.44	7.37	621.94	10.67	183.17	1.43	54.96	2.41	15.83	118.32	7.25	22.20	20.08	78.03
		Median	22.90	7.41	605.00	10.20	158.10	1.58	39.59	1.84	12.20	100.46	6.44	19.42	20.79	66.80
RRQ6		Mín.	14.60	6.35	312.00	1.60	49.40	1.17	22.54	1.44	6.51	15.90	2.72	13.25	12.84	46.91
		Max.	24.30	8.10	463.00	12.20	211.70	2.25	32.70	5.08	11.00	105.42	6.20	34.43	21.15	85.81
		Average	19.45	7.49	394.88	7.77	134.96	1.68	26.83	2.96	7.90	79.75	4.82	19.90	17.37	62.56
		Median	20.00	7.59	402.00	7.40	147.00	1.67	26.34	2.72	7.57	86.15	4.98	18.81	17.30	62.31

Electrical conductivity values suggests that river waters are generally of low mineralization, as median values range between 139 µS/cm to 456 µS/cm in Ribeira Grande and 209 µS/cm to 605 µS/cm in Ribeira Quente river. Results present the same increasing trend depicted by temperature, and in Ribeira Quente the higher conductivities are measured in RRQ5 (median=605 µS/cm).

In Ribeira Grande river, Na accounts for 5.5% to 45.6% of the relative ionic composition (in meq/L), while HCO_3 and Cl account respectively for 8.9% to 58.8% and 5.7% to 48.6%. Regarding Ribeira Quente river, Na accounts for 16.7% to 51.4% of the relative ionic composition, while HCO_3 and Cl account respectively for 4.6% to 39.8% and 2.6% to 19.0%. The contribution of these species to the overall chemical composition of river water is shown by the correlation between electrical

conductivity and Na (r=0.852), K (r=0.498), Mg (r=0.857), Ca (r=0.611), Cl (r=0.862), HCO_3 (r=0.753) and SO_4 (r=0.886) (Fig. 3). The highest correlation values between major-ions and water conductivity, that represents dissolved solid content, provide an insight on processes that are controlling water mineralization. The close relation with Na and HCO_3 suggests the contribution of silicate weathering, but mixture with thermal or cold carbonated discharges are not excluded. The close relation with Cl and SO_4 is also compatible with an enrichment associated to mixture with thermal discharges, nevertheless at least in sampling stations near the coast may also result from seawater spraying.

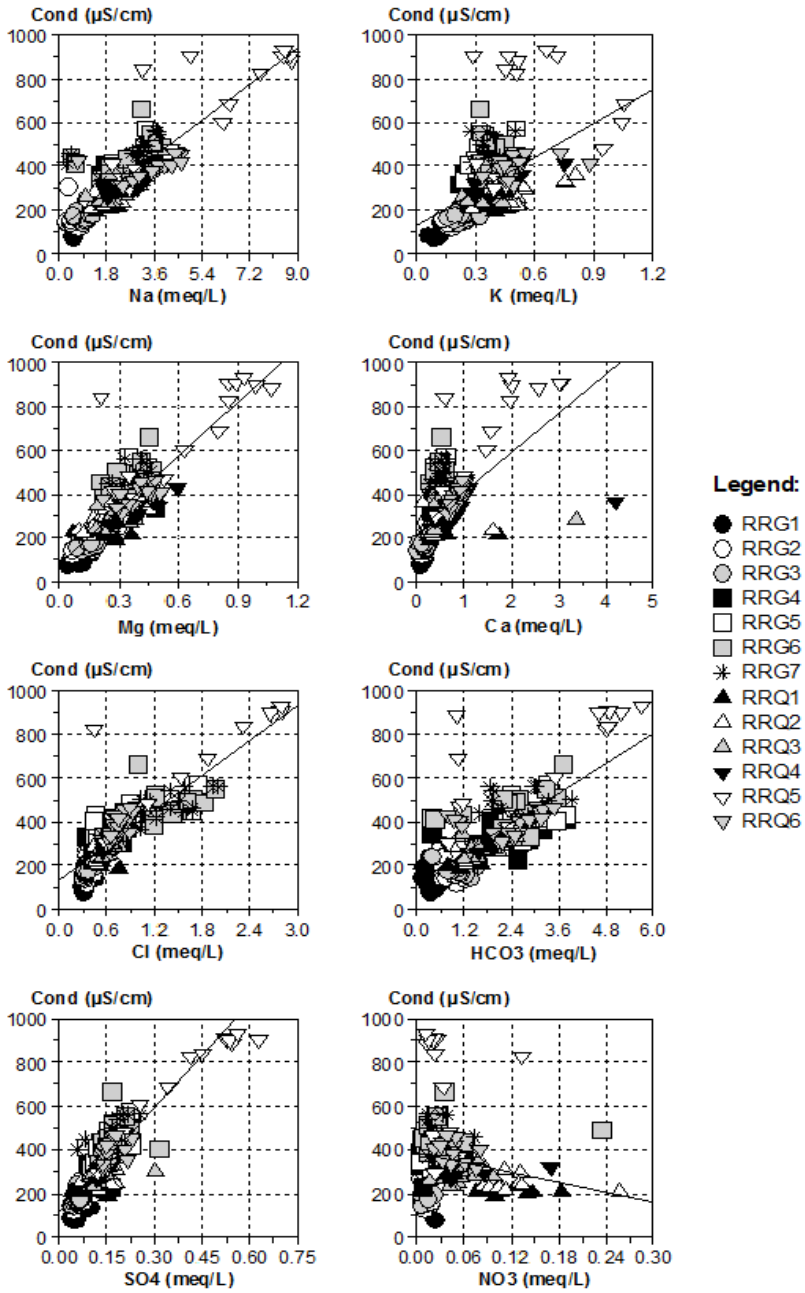


Figure 3 - Relationship between electrical conductivity (in µS/cm) and major-ionic species (in meq/L; linear regression lines are also shown).

Molal ratios in the studied river waters are close to the lower range of reference values provided by Gaillardet et al. (1999) for silicate draining rivers: 0.11 to 0.16 comparing to 0.35±0.15 for Ca/Na, 0.08 to 0.13 comparing to 0.24±0.12 for Mg/Na and 0.61 to 1.67 comparing to 2±1 for HCO_3/Na. The lower values observed reflect the trachytic composition that dominates the ground surface in both watersheds, and is influenced also by the intrinsic characteristics of the studied rivers: the small river lengths and the torrential nature of the river flow which favors a high water-rock ratio (Langmuir, 1997) in which silicate weathering is limited. Even though molal Ca/Na ratio can be considered as sensitive to trachytic, basaltic or intermediate rock compositions (Louvat and Allègre, 1998), and the range estimated for the average values in Ribeira Grande (0.08 - 0.14) and Ribeira Quente (0.09 - 0.13) are similar, suggesting homogeneity between both river basins and avoiding lithological-influenced biased comparisons.

Even comparing the above mentioned molal ratios to the ones calculated for more acid volcanic terrains, as andesitic volcanics (Goldsmith et al. 2010), Ca/Na and Mg/Na ratio values estimated in the present study are generally lower. Goldsmith et al. (2010) suggests that similar values for molal ratios in acid volcanics and basaltic terrains, as observed in their study in the Dominica (Lesser Antilles), results from a set of possible mechanisms been responsible for supplying those solutes to the river waters: ideal soil thickness, relative abundance of tephra/pyroclastic material, crystallinity of parent material, and presence of conduits to soil/bedrock interface. Nevertheless, as in our study areas fresh pomitic pyroclastic materials are dominant, this attribute is not limiting the chemical weathering potential.

The Cl/Na molal ratio is in the 0.25 to 0.86 range, lower than the typical elemental ratio in seawater (1.15), which characterizes the atmospheric input (Gaillardet et al. 1999) driving rain water composition at least in coastal regions in general, and in islands in particular (Berner and Berner 2012), suggesting a Na input due to other processes (Fig. 4). This enrichment also explains the relationship between alkali and alkali-earth metals composition (Fig. 5).

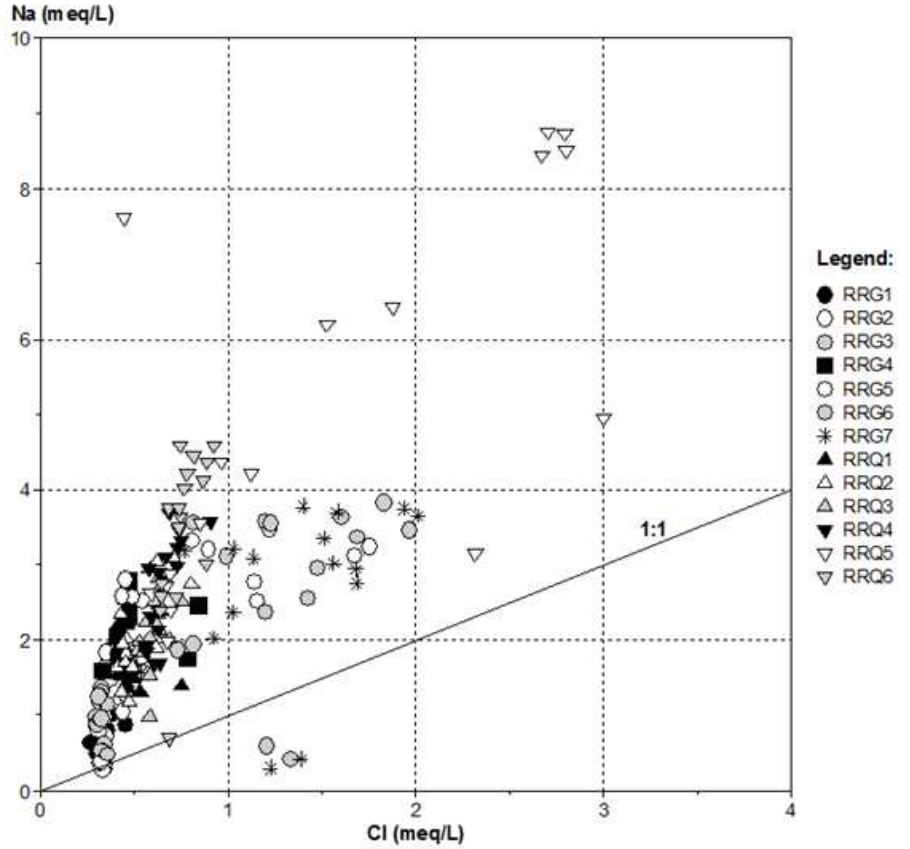


Figure 4 - Relationship between Cl and Na content in the studied river waters.

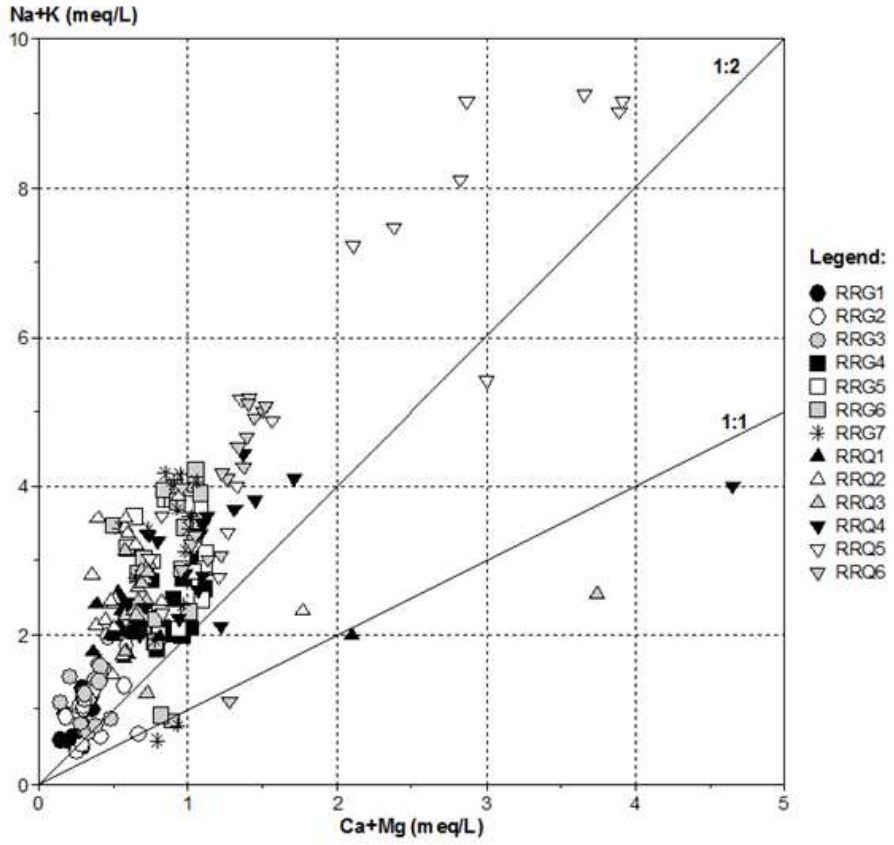


Figure 5 - Relationship between alkali and alkali-earth metals in the studied river waters.

Average values for Si are in the range between 854 to 1235 µM in Ribeira Grande river and between 893 to 1300 µM in Ribeira Quente river, comparable with results measured in other volcanic regions as Luzon Island, the Philippines (466 µM-1906 µM; Schopka et al. 2011) and Iceland (420 µM-2700 µM; Gislason et al. 1996), but higher than values registered in Réunion Island (280 µM - 570 µM; Louvat and Allègre 1997). As shown by Bluth and Kump (1994), usually HCO_3 and SiO_2 are positively correlated with runoff, and the range for the HCO_3/SiO_2 molal ratio reported by those authors for rivers in Hawaii (1.06-3.03) is similar to the ones calculated in the present study: in Ribeira Grande river HCO_3/SiO_2 molal ratio range between 0.51 and 2.55 (average=1.76) and in Ribeira Quente between 1.12 and 2.3 (average=1.79).

Agricultural pollution also contributes to river water chemistry, and the NO_3-enrichment associated to diffuse sources, namely the overuse of fertilizers and animal wastes in pasture lands, is shown in Fig. 6 by sampling stations RRQ1 and RRQ2 that drain out an area where livestock activity is the main activity.

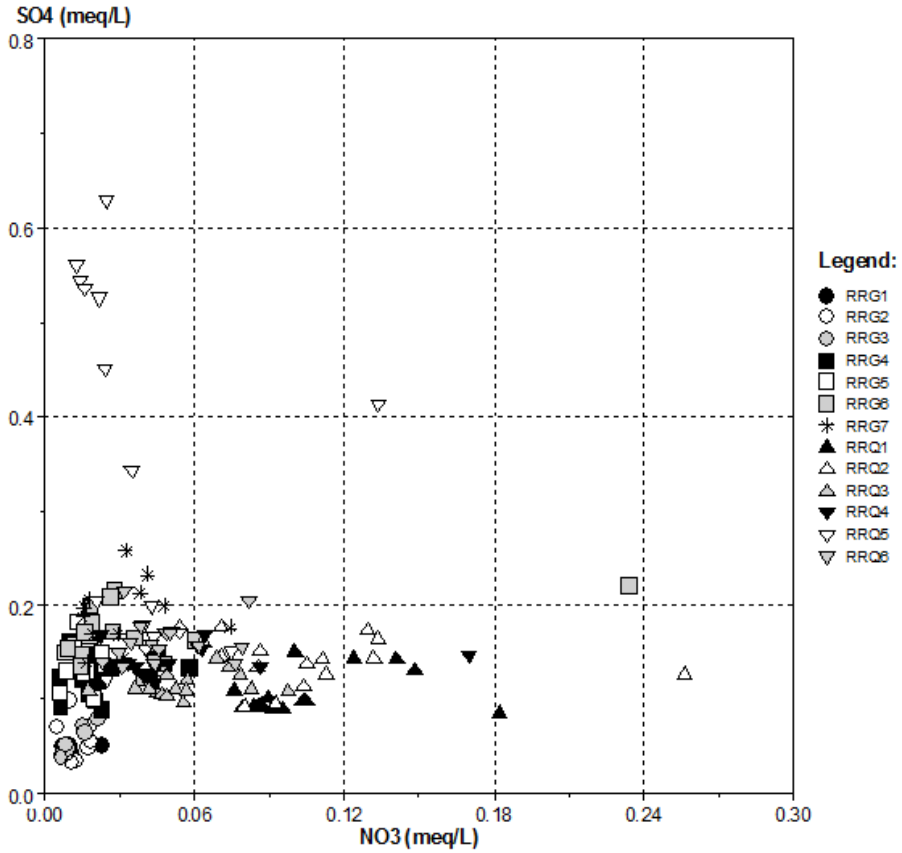


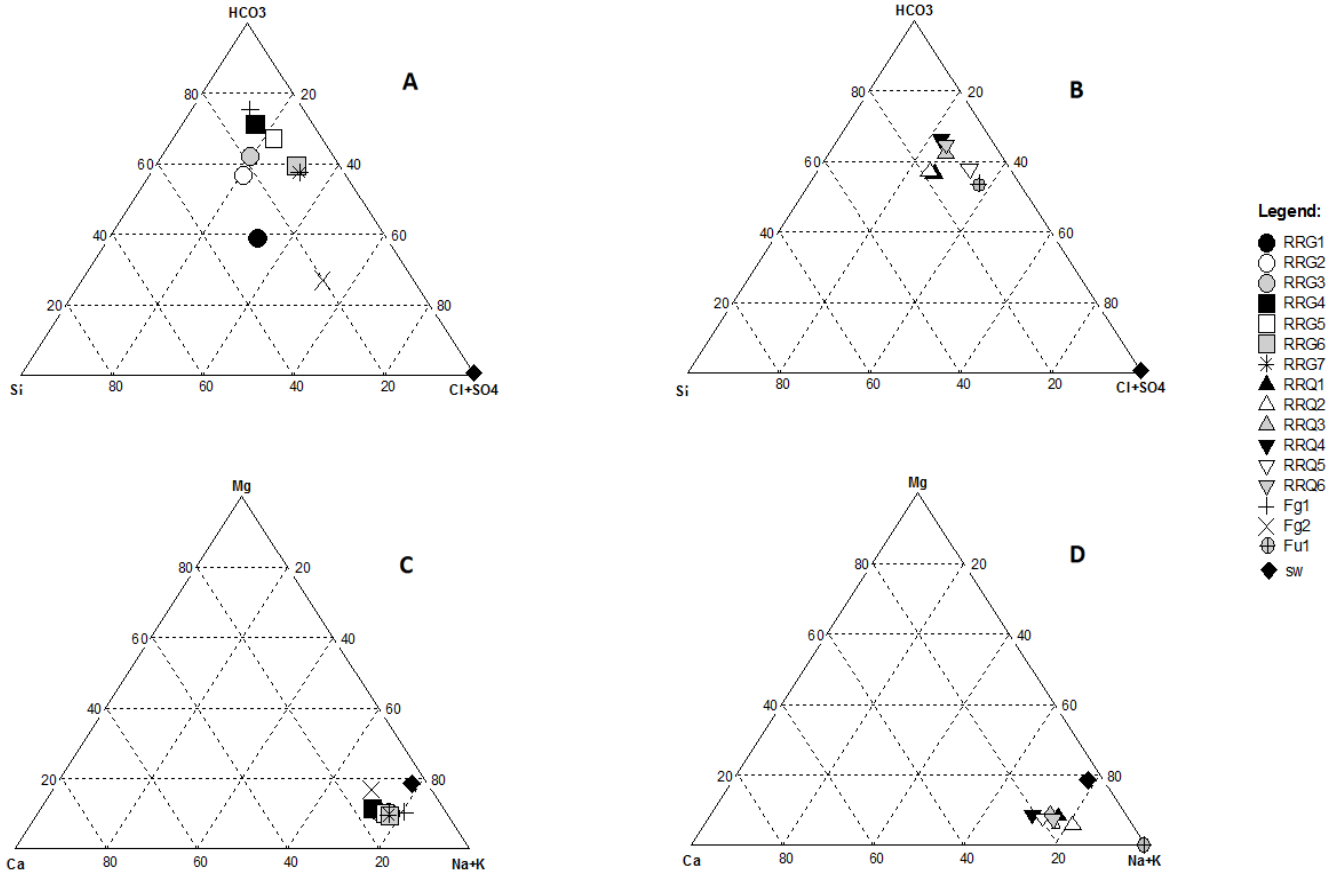
Figure 6 - Relationship between NO_3 and SO_4 content in the studied river waters.

5. DISCUSSION

5.1. Spatial variations

From the $Cl+SO_4$-Si-HCO_3 ternary plot is possible to depict an evolution path for the river water chemistry (Fig. 7A-7B). Considering both rivers downstream samples depict a more or less constant Si content, suggesting that somehow the saturation state vs. SiO_2 solid phases is limiting Si content in river waters. In order to investigate this hypothesis, PHREEQC software (Parkhurst and Appelo 1999) was used, and is possible to show that the majority of the samples are oversaturated in chalcedony and quartz, and undersaturated regarding amorphous SiO_2 (Fig. 8). Cumulatively, is expected that the contribution of silicate weathering toward river water chemistry is less important downstream due to influence of other processes such as seawater spraying.

Figure 7 - $Cl+SO_4$-Si-HCO_3 (top) and Na+K-Ca-Mg (bottom) ternary plots for the sampling stations average values in



Ribeira Grande (7A; 7C) and Ribeira Quente (7B; 7D). For comparison the composition of seawater (sw; Goldberg et al. 1971 in Hem 1992) and mineral waters in Fogo (Fg1 – Lombadas cold carbonated spring; Fg2 – Caldeira Velha thermal spring; Cruz et al. 2010b) and Furnas volcanoes (Fu1 – Caldeira Grande thermal spring; Cruz et al. 1999) is also plotted

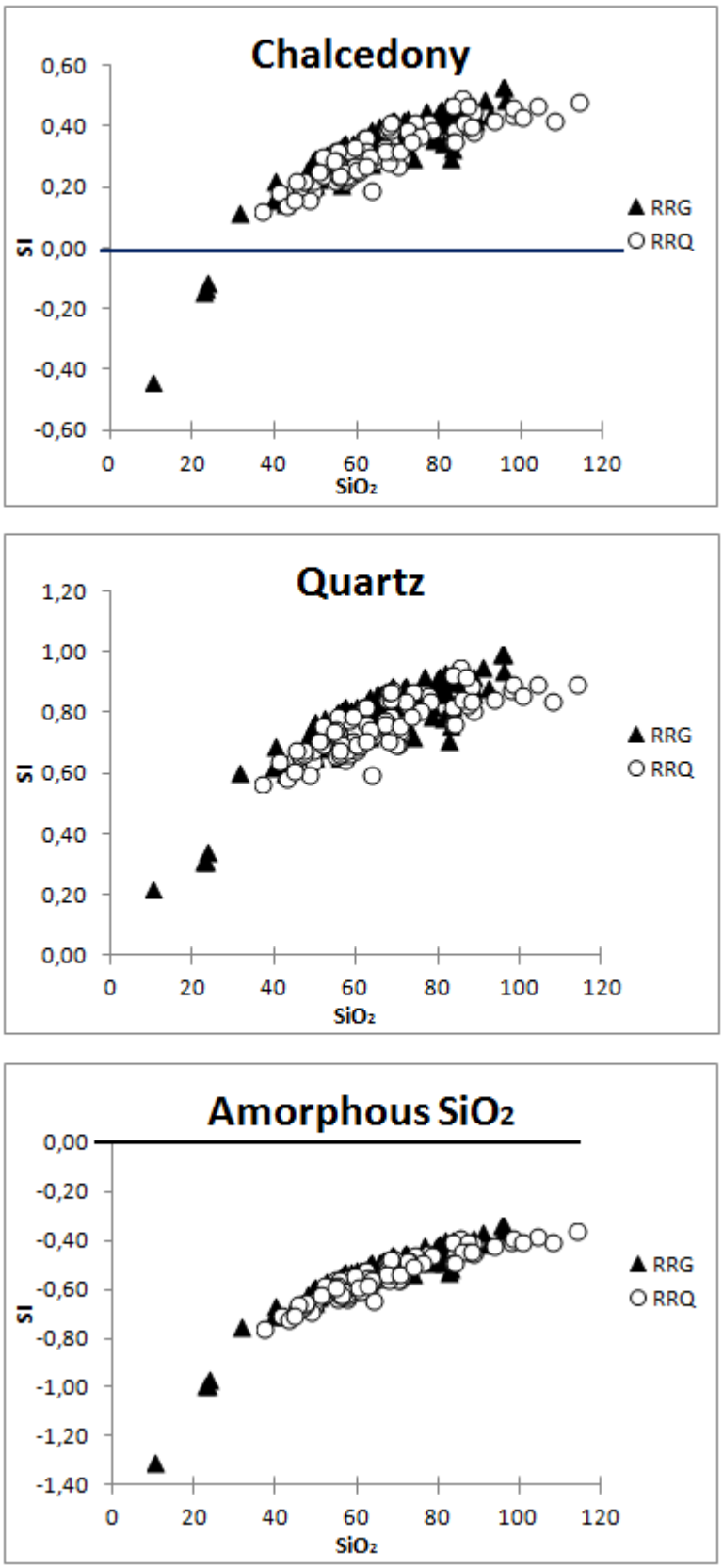


Figure 8 - Saturation status regarding SiO_2 solid phases calculated using PHREEQC software (A - chalcedony, B - Quartz and C - amorphous SiO_2)

Downstream samples in Ribeira Grande river (i.e. from RRG5 to RRG7) depict a progressive enrichment in $Cl+SO_4$ comparing to HCO_3, due to mixture with thermal fluids and the higher marine contribution near the coast (Fig. 7A). The influence of mixing with discharging thermal waters is represented by sample RRG5, which drains out a section of the river channel whit mineral water inflows, while Station RRG7, located near the river mouth, is suggested to be mainly influenced by marine salts; therefore the projection of average values form those stations suggest a trend toward the relative water composition of Caldeira Velha thermal spring and seawater (Fig. 7A). In contrast, samples RRG1 to RRG4 are collected in upstream sampling stations, and present silicate weathering dominated compositions, been Si content limited by the saturation state regarding SiO_2 solid phases. As RRG1 has a pristine location, not influenced by mineral water discharges, the composition of samples from RRG2 to RRG4 reflects the influence of an area where cold carbonated springs discharge in the river, enhancing weathering, and explains that the average values on those sampling stations define a trend toward a relative composition similar to the cold carbonated discharges (Fg1 on Fig. 7A). Fg1 correspond to a cold carbonated spring, located in the so-called Lombadas are, where two artesian wells were drilled in this CO_2-rich perched-water body.

A similar evolution trend is not clear considering Ribeira Quente river, where only the shift from Si-richer to HCO_3-richer relative compositions is depicted (Fig. 7B). station RRQ5 depicts a slight $Cl+SO_4$ enrichment, and the minimum Cl/SO_4 molal ratio (2.15) is lower compared to values observed in sampling stations RRQ4 and RRQ6 (7.59). This SO_4 enrichment is suggested to be associated to thermal waters seepage in the bottom of the river channel, namely SO_4-rich steam-heated waters and explains why the average values on this station fall close to Caldeira Grande thermal spring in Figure 7B. A possible explanation for the SO_4-enrichment associated to fertilizers application was excluded due the main types of fertilizers used in São Miguel island (Cruz et al. 2013).

Regarding the Na+K-Ca-Mg ternary plot it is possible to show that the relative cation composition in Ribeira Grande and Ribeira Quente are quite similar, revealing a Na-dominated composition in all sampling stations (Fig. 7C and 7D). Comparing the average major-ion composition along the flow path a general increasing trend is evident (Fig. 9). For Ribeira Grande river this overall increase is especially noticed between sampling stations RRG3 and RRG5, while in Ribeira Quente station RQ5 depicts a sharp enrichment in all ionic species analysed. The former show both the increasing contribution downstream of the several processes that influence water composition, namely silicate weathering and mixture with thermal and cold carbonated discharges, which dominates in the upper sector of the watershed, shifting for pasture-dominated land use in the lowlands, and higher discharge rates.

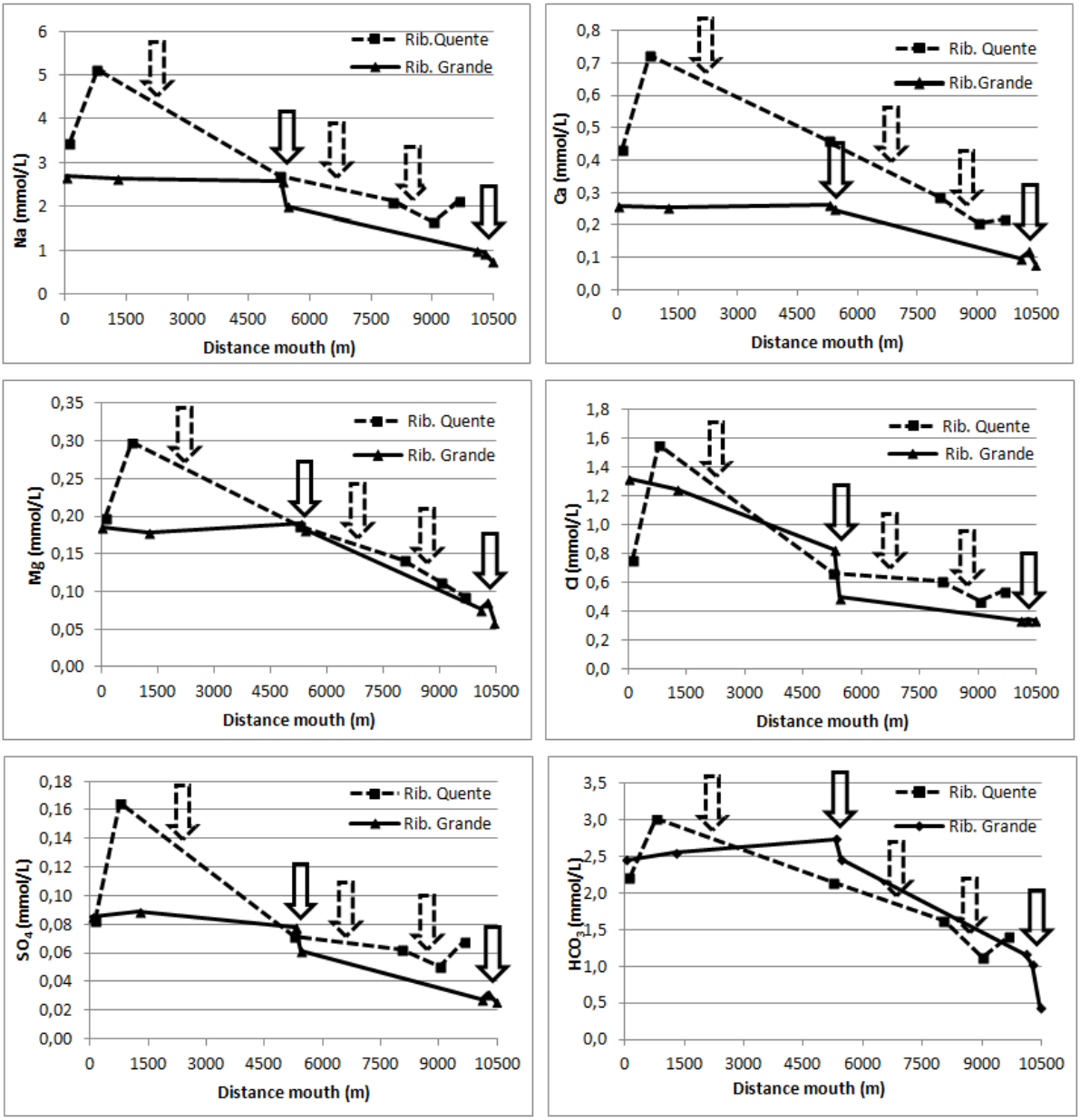


Figure 9 - Variation of the average major-ion composition along the flow path. The location of the major cold carbonated and thermal water discharges is shown for both rivers.

The effect of mixing with thermal discharges is depicted by a sharp enrichment on Na, SO_4, Cl and HCO_3 in the middle sector of the Ribeira Grande watershed (Fig. 9). From this point downstream, the higher discharge rates contribute to dilute solutes, and the majority of the major-ions in solution present a stable content, with the exception of HCO_3, which suggests a relative lower contribution of silicate dissolution downstream. Near the river mouth only the Cl content increases significantly, which may result from seawater spraying and wastewater discharges in the urban area.

In Ribeira Quente river, dilution is only controlling water composition near the river mouth, as shown by the general content decrease. Despite agriculture diffuse pollution upstream, depicted by higher NO_3 contents, silicate dissolution and mixture with thermal and carbonated cold discharges may explain the overall increase of major-ion content (Fig. 9). Mineral water discharges in the watershed

present a wide range of water types, and are spread mainly in the Furnas village area and downstream until the RRQ5 sampling station.

5.2. Seasonal variations

Considering major-ion variation along time, it is possible to show that higher amplitude variations are associated mainly to RRQ5 station in what concerns cation content (Fig. 10). Higher major-ion contents are attained during August and November 2010, as well as between July and October 2011, periods during which discharge rate is lower. This observation is consistent with studies made in other volcanic regions, which depicted lower Ca, Mg and Na activities during periods of high runoff (Bluth and Kump 1994).

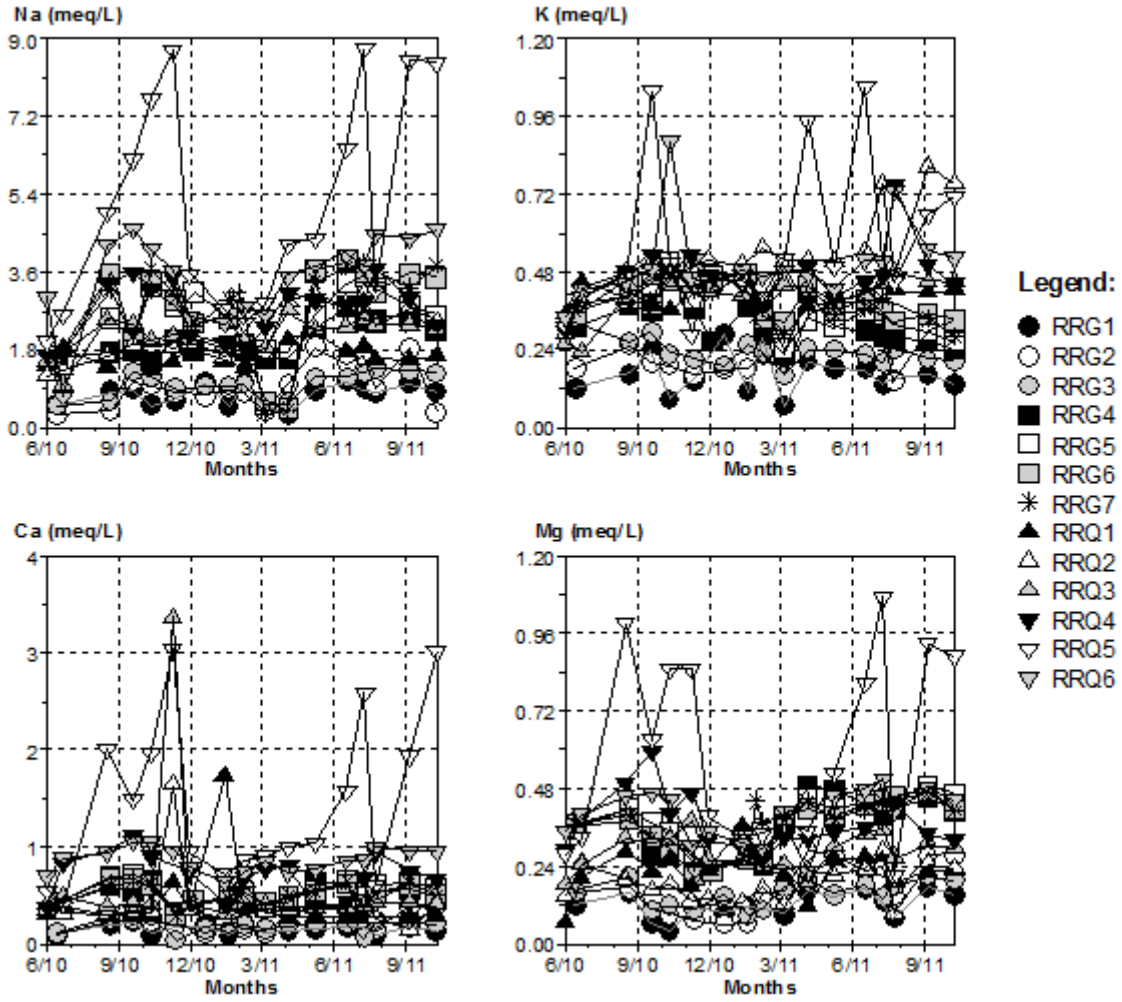


Figure 10 - Variation of cation composition during the studied period.

Regarding anion composition along time, major variations are also observed for RRQ5, depicting a common Cl, SO_4 and HCO_3 enrichment in the same time intervals (Fig. 11). This enrichment is due to a common source, associated to thermal water discharge, and consequently mixture with river water, which effects are particularly noticeable in summer and autumn before the raining season starts and

low discharge conditions. In what concerns HCO_3 content, variations observed in sampling stations RRG4 and RRQ4, the enrichments are suggested to be associated to mixing with carbonated water discharges.

Higher variations on the NO_3 content are observed in RRQ1, RRQ2 and RRG6, reflecting agricultural pollution due to fertilizer application. This enrichment in NO_3 reflects the large area occupied by pastures land in both watersheds, and the impact of application of fertilizers over surface and groundwater in São Miguel island has been extensively characterized (Cruz et al, 2010a, 2012). Although, Cl content also presents sharp fluctuations for RRG6 and RRG7 stations in Ribeira Grande, which in the latter can also be interpreted as a result of marine contribution.

Representative periods of wet (December 2010 - March 2011) and dry conditions (June 2011-October 2011) were selected in order to compare molal ratios seasonal variations. In general molal ratios are higher in wet conditions in both rivers, nevertheless the minimum values are more or less similar been the highs more variable. In Ribeira Quente, average Ca/Na molal ratio is in the range of 0.10-0.23 in wet conditions, comparing to 0.07-0.13 in dry periods, Mg/Na ratio between 0.04-0.08, comparing to 0.04-0.07, HCO_3/Na ratio between 0.72-0.91, comparing to 0.52-0.76, and Cl/Na between 0.25-0.29, comparing to 0.19-0.40.

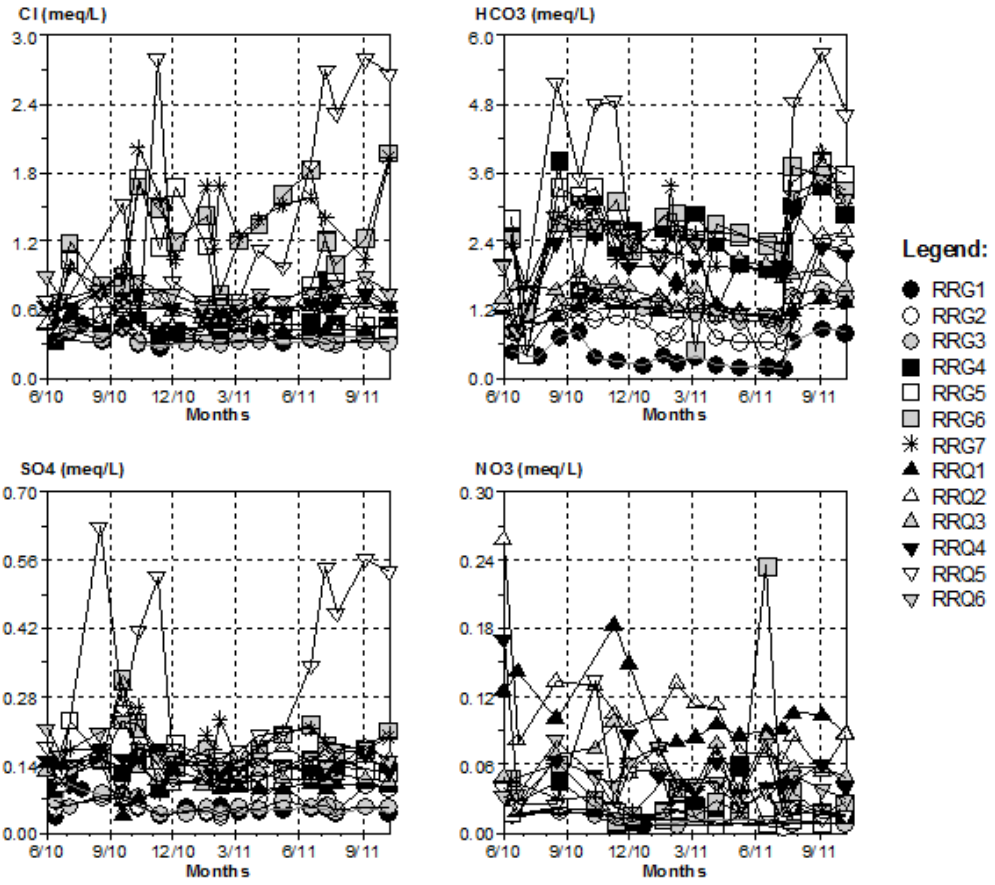


Figure 11 - Variation of anion composition during the studied period.

For Ribeira Grande river, average Ca/Na molal ratio is in the range of 0.10-0.24 in wet conditions, comparing to 0.07-0.19 in dry periods, Mg/Na ratio between 0.07-0.21, comparing to 0.06-0.14, HCO_3/Na ratio between 0.51-2.76, comparing to 0.59-1.90, and Cl/Na between 0.25-1.46, comparing to 0.22-0.41.

In Ribeira Grande, the seasonal control of the Cl/Na molal ratio is shown by the higher values reached in wet conditions, been species like Cl, carried by sea salts. The Ca/Na, Mg/Na and HCO_3/Na molal ratios variation pattern is suggested to be the result of an efficient washing of the sea salts deposited in soils in the early beginning of the rainy season, and the importance of such processes in soil-water evolution was shown in São Miguel island (Cruz et al. 2013).

5.3. Fluxes and volcanic contribution

Major-ion fluxes in Ribeira Quente (RRQ4) are presented in Table 2, resulting from the average daily flux from November 2010 to October 2011 (Fig. 12). This average value was estimated from the instantaneous daily flux, multiplying the solute content by the discharge rate measured in the same day of sampling collection in RRQ4. The same approach was used in order to quantify total CO_2 flux in river water.

Higher solute fluxes in Ribeira Quente river are associated to HCO_3 and Na, slightly lower but in the same order of magnitude comparing to results from Cruz et al. (1999), but as the present study integrates more data resulting from a closer sampling interval, former fluxes can be considered as more robust.

Regarding total CO_2, the estimated flux (3647 t/yr) is also slightly lower but in the same order of magnitude of data presented by Cruz et al. (1999) for mineral springs discharge and Ribeira Quente river. The CO_2 discharge in river water should be added to values proposed by Viveiros et al. (2010; 2012) for diffuse gas soil emanations in order to establish the CO_2 budget in Furnas volcano. Total CO_2 flux in Ribeira Quente river is about 0.9% of the diffusible degassed CO_2 and ~80% of CO_2 discharge in mineral waters located in Furnas village.

Table 1 - Solute fluxes in the studied rivers (t/yr).

Solute	Ribeira Quente (t/yr)	Ribeira Grande (t/yr)
Na	1807	3272
K	600	970
Mg	134	184
Ca	709	498
Cl	726	2458
HCO_3	4109	9795
SO_4	221	409
CO_2T	3647	7546

Due to the lack of discharge measurements downstream it is not possible to calculate solute fluxes with RRQ6 chemistry data. Nevertheless, considering the average annual discharge rate estimated for Ribeira Quente watershed ($23.1x10^6$ m^3/yr; Cruz et al. 2010a), total CO_2 in the river mouth can be roughly estimated as ~2429.6 t/yr, which reflects the lower HCO_3 and dissolved CO_2 downstream from RRQ5 to RRQ6 sampling stations.

The chloride-inventory method (Ingebritsen et al. 2001) was used to estimate the contribution of thermal waters to river chemistry. This approach was selected due to the physical conditions in Ribeira Quente watershed, been possible to discriminate between upstream (RRQ2) and downstream thermal discharges.

The Cl-inventory method allows the estimate of thermal water discharge to Ribeira Quente river (Q_t), according to the following expression:

$$Q_t=[Q_s(Cl_d - Cl_u)]/(Cl_t-Cl_{bkgd})$$

where Cld and Clu are respectively the chloride content downstream and upstream thermal discharges, Clbkgd is the chloride background content, Clt is the chloride content in thermal discharges and Qs is the discharge rate of the river.

Considering average Cl content in RRQ5, RRQ2 and RRQ1 respectively as Cl_d, Cl_u and Cl_{bkgd} data, Cl_t as equal to 8.39 mmol/L (Caldeira Grande discharge; Cruz et al. 1999) and Q_s equal to $23.1x10^6$ m^3/yr (Cruz et al. 2010a), the resulting Q_t is equal to $2.96x10^6$ m^3/yr, corresponding to 12.8% of the discharge rate in the watershed. As previous studies suggest that Furnas lake can explain as much as 2/3 of the Ribeira Quente annual average discharge rate (~$15.4x10^6$ m^3/yr; LNEC 1992), a fraction of the remaining discharge rate (~$7.7x10^6$ m^3/yr) results from groundwater discharge, to which thermal springs contribute as well as the numerous cold springs spread in the watershed.

Using a similar approach, Ribeira Grande major-ion fluxes in RRG6 are also presented in Table 2, been the higher solute fluxes associated to HCO_3 and Na (Fig. 13). The estimated flux for total CO_2 (7546 t/yr) is about two times higher comparing to Ribeira Quente, calling the attention to the need to develop more studies to address CO_2 budget in Fogo volcano in the overall context of volcanic activity surveillance (Viveiros et al. 2008).

Through the application of the Cl-inventory method, considering average Cl content in RRG6, RRG3 and RRG1 respectively as Cl_d, Cl_u and Cl_{bkgd} data, Cl_t as equal to 6.5 mmol/L (Caldeiras da Ribeira Grande discharge; Cruz et al. 1999) and Q_s equal to $16.1x10^6$ m^3/yr (Cruz et al. 2010a), the resulting Q_t is equal to $2.4x10^6$ m^3/yr, corresponding to 14.9% of the discharge rate in the watershed. This latter value, as well as the proportion of the hydrothermal contribution in Ribeira Quente river, are in the same order of magnitude determined by Rad et al. (2011) in the volcanic islands of Lesser Antilles and Réunion, where values are as high as 20%.

In both Ribeira Grande and Ribeira Quente rivers, mass fluxes depict a seasonal effect, showing a clear separation between a period of low river discharge (comprising the spring, summer and early autumn) and the remaining of the year (Fig. 12 and 13). The seasonal character of the river discharge was shown in Figure 2, resulting from a climatic effect that also controls mineral spring discharge; nevertheless, when river discharge is lower, it can be expected that thermal and cold carbonated springs contribution to river water chemistry is less affected due to the regulation effect of groundwater. As a result, the effect of a lower river dilution is not compensated by a lower volcanic contribution to river water.

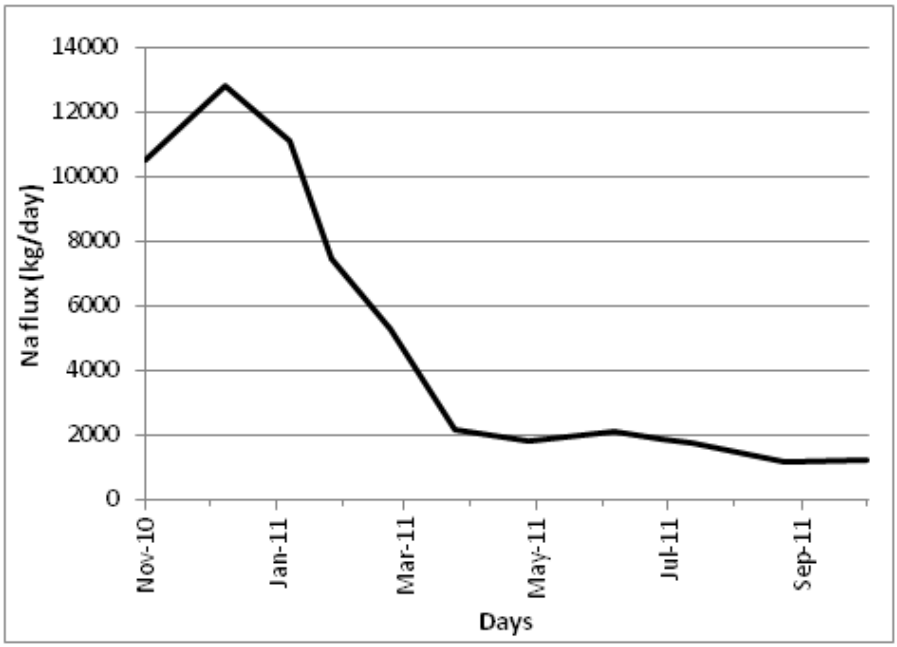


Figure 12 - Sodium flux in Ribeira Quente river (sampling station RRQ4).

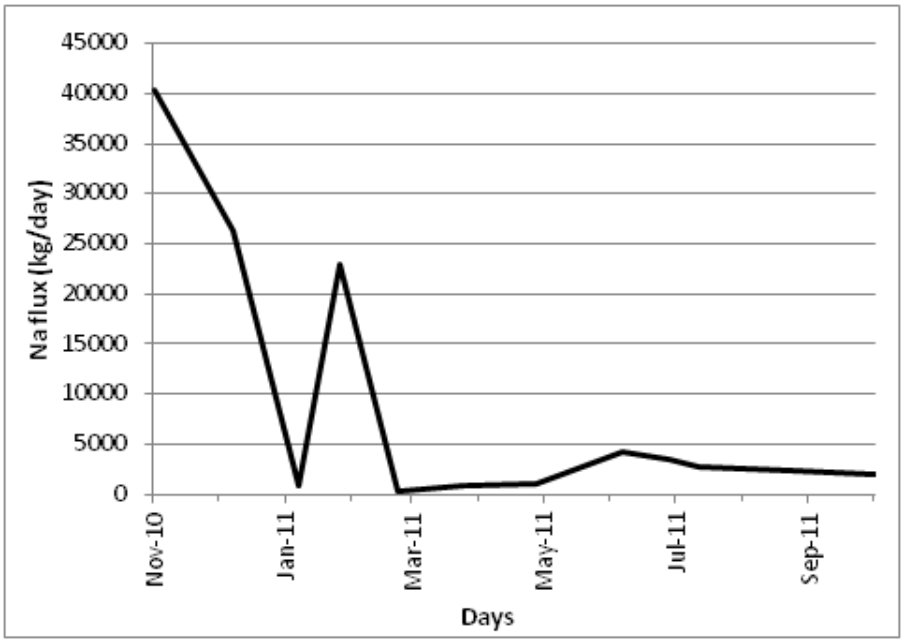


Figure 13 - Sodium flux in Ribeira Grande river (sampling station RRG6).

5.4. Chemical weathering and CO_2-consumption

Assuming that silicate mineral in carbonic acid supply through weathering one mole of Si to water while consuming two moles of CO_2, it is possible to estimate the total CO_2-consumption (Edmond and Huh 1997; Goldsmith et al. 2008). In the present study, as Si solubility is limited by the oversaturation on some SiO_2 solid phases, results can be considered as a minimum value.

In order to apply the referred assumption, the average Si content on both rivers (sampling stations RRQ6 and RRG7) was corrected for the hydrothermal fraction according a binary mixing model expressed by the following expression:

$$(Si)_{rwC}=[(Si)_{rw}-(\alpha_{thw} \text{ x } (Si)_{thw})]/(1-\alpha_{thw})$$

where α_{thw} is fraction of hydrothermal component in river water (equal to 12.8% and 14.9% respectively in RRQ and RRG), $(Si)_{rwC}$ and $(Si)_{rw}$ are respectively the corrected and the actual Si content in river water, and $(Si)_{thw}$ is the Si content for the hydrothermal end-member. For the latter, we calculate the average values of discharges PF09, PF10 and PF25 in Furnas volcano (Cruz et al. 1999) and AM58 and AM63 in Fogo volcano (Cruz et al. 2010), respectively equal to 5.90 mmol/L and 5.48 mmol/L. The marine contribution to be corrected through the rain water composition was considered to be negligible as dissolved silica in river water is almost entirely from silicate weathering (Berner and Berner 2012).

The corrected Si flux in Ribeira Quente river mouth is equal to 0.327 mol/m^3, which considering the area of the watershed (26.2 km^2) and the average discharge ($23.1x10^6$ m^3/yr) points out to a total flux equal to $0.29x10^6$ mol/km^2/yr. For Ribeira Grande river , the corrected Si flux is equal to 0.44 mol/m^3, which considering the area of the watershed (18.4 km^2) and the average discharge ($16.1x10^6$ m^3/yr) points out to a total flux equal to $0.39x10^6$ mol/km^2/yr. Therefore, the total CO_2-consumption in Ribeira Quente is $0.58x10^6$ mol/km^2/yr and $0.78x10^6$ mol/km^2/yr in Ribeira Grande river which, despite the constrain resulting from the SiO_2 solubility, are in the same order of magnitude of the ones presented by Louvat and Allègre (1998) for São Miguel ($0.26x10^6$ - $0.87x10^6$ mol/km^2/yr). The only common river studied in the present paper and the one of Louvat and Allègre (1998) is Ribeira Grande river, been our value 44% higher, been a possible explanation the discharge rate: the present value is 64.6% higher than the one pointed by Louvat and Allègre (1998) which was not based on direct measurements.

If the Si content was not corrected or the hydrothermal end-member, CO_2-consumption estimates will be much higher (RRQ6: $1.8x10^6$ mol/km^2/yr; RRG: $2.2x10^6$ mol/km^2/yr), which shows the impact of geothermal waters, which in general imply sharp increases on values calculated considering only low-temperature chemical erosion (Louvat et al. 2008). On the other hand, other mineral acids, besides carbonic acid, may add protons in the river water, as sulphuric and hydrochloric acids, therefore also controlling weathering (Rad et al. 2011), and the influence of steam-heated discharges to river water was already discussed regarding Cl/SO_4 molal ratio in RRQ5.

Comparing to values published in the international literature, the present values of CO_2-consumption fall within the range of values previously determined for andesitic terrains of Andes ($0.22x10^6$-$1x10^6$ $m^3/km^2/yr$; Edmond and Huh 1997) and the Himalayas ($0.1x10^6$-$0.32x10^6$ $m^3/ km^2/yr$; Edmond and Huh 1997), but lower in general comparing to watersheds in volcanics of the same nature in Taranaki, New Zealand ($0.85x10^6$-$3.4x10^6$ $mol/km^2/yr$; Goldsmith et al. 2008) and Dominica, Lesser Antilles ($0.19x10^6$-$1.6x10^6$ $mol/km^2/yr$; Goldsmith et al. 2010). Values estimated for basaltic regions are usually higher, especially in the highs, comparing to the present results, as for example in Réunion island ($1.1x10^6$-$4.1x10^6$ $mol/km^2/yr$; Louvat and Allègre 1997) and Iceland ($0.14x10^6$-$1.8x10^6$ $mol/km^2/yr$; Stéfanson and Gislason 2001).

Nevertheless, the range of values obtained in the present study, when compared to results worldwide, reveal that the flux of solutes associated to weathering is controlled by other factors besides the dominant lithology, as soil thickness (Goldsmith et al. 2010), which is function of other factors as climate and the age of the volcanics, and results in shorter or longer residence times (Rad et al. 2011). Been the soil thickness in our study areas generally low (as high as 1-1.3 m; Ricardo et al. 1977), the expected fluxes resulting from weathering are limited, as well as the CO_2-consumption, which can also explain the low molal ratios observed when compared to other volcanic regions worldwide.

Comparing the CO_2-consumption by weathering with the gaseous emanations in Furnas volcano due to volcanic degassing, which range in for specific areas between $1.1x10^9$ $mol/km^2/yr$ and $5.6x10^9$ $mol/km^2/yr$ (Viveiros et al. 2010, 2012), it is possible to conclude that Furnas volcano is a net contributor of CO_2 to atmosphere.

5.5. Conceptual model

Through the interpretation of general hydrogeochemistry data, coupled with the hydrological regime, the hydrogeological setting and the land use in both watersheds, is possible to draw a conceptual model to explain river water chemistry evolution (Fig. 14). In general, land use in Ribeira Grande watershed can be divided in three main sectors: an upstream sector where pristine conditions are dominant, a middle sector where pasture land are dominant, and a coastal sector, with urban occupation. For the Ribeira Quente watershed the land use pattern is slightly different, as pasture land also occupies the upstream sector of the watershed.

The river water dissolved content increase downstream, as well as the river discharge, and Si content is more or less stable due to a solubility control through oversaturation regarding some SiO_2 solid phases. Si content is also dominating river water composition in the sampling stations located upstream (Fig. 7A, 7B).

A dilution effect of the solutes resulting from the cold carbonated and thermal waters inflows is observed, and the increase of the Ca/Na and Mg/Na ratios downstream depict that effect. Na is the

main cation resulting from the discharge of the Na-HCO_3 and Na-SO_4-dominated cold carbonated and thermal groundwater in both rivers (estimated as about 13% to 15% of the annual river discharge), as well as been the main cation resulting from the silicate weathering in the acid volcanic rocks (mainly pumice and trachytic lava flows) that dominate both watersheds. Although, even expecting a Cl input due to seawater spraying in the coastal area, the Cl/Na ratio is lower than the typical seawater value, showing that waters are richer in Na regarding the expected if the geochemical evolution was only dominated by a marine fraction. Main major-ion annual fluxes are associated to HCO_3 and Na, reflecting the above mentioned processes

Agriculture pollution, associated to fertilizers application will explain some higher NO_3 contents, as well as been an explanation of the Ca and Mg enrichment due to the type of fertilizers used by farmers in São Miguel (Cruz et al. 2013).

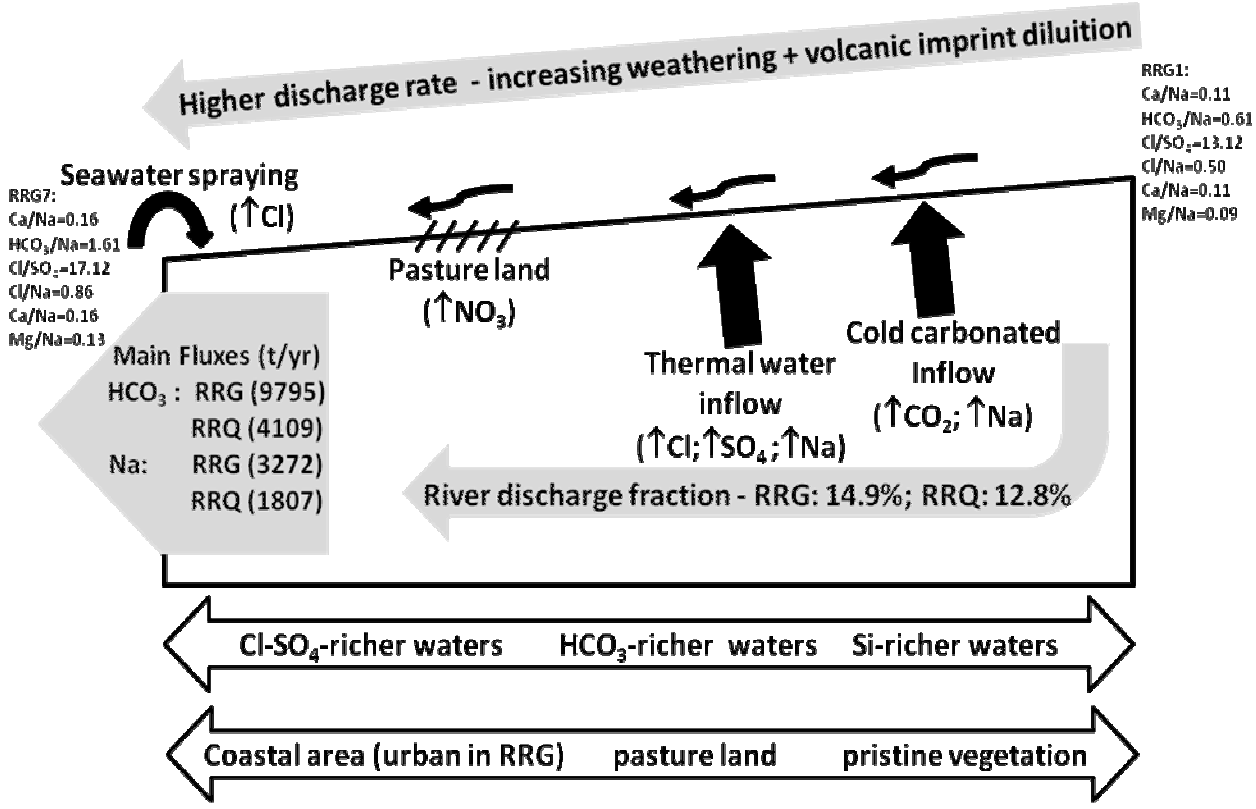


Figure 14 - Conceptual model for river water chemistry in the studied rivers (Ribeira Grande watershed was selected as reference; explanation in text).

6. CONCLUSIONS

Ribeira Grande river drains out Fogo central volcano and the watershed has an area of 18.4 km^2 and an average discharge estimated in $16.4x10^6$ m^3/yr. Ribeira Quente river drains out Furnas central volcano, and is located in the south coast, in the central-east sector of the Island, and the watershed has an area of 26.2 km^2 and an estimated discharge of $23.1x10^6$ m^3/yr.

Waters are mainly from the Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl types, and slightly acid to basic in nature, electrical conductivity values suggest that river waters are generally of low mineralization, in the range of 139-456 µS/cm (Ribeira Grande) and 209-402 µS/cm (Ribeira Quente), and median water temperature values are slightly higher in Ribeira Quente (15.5-22.4ºC) compared to Ribeira Grande (15.2-19.7ºC).

River water composition reflects the intrinsic characteristics of the studied rivers, with small river lengths and surface flow of torrential nature. Chemistry results from several processes, as atmospheric input, silicate weathering, despite downstream samples showing more or less stable Si content, reflecting a solubility control associated to the oversaturation state regarding some SiO_2 solid phases, and in a few sampling station the effects of agricultural pollution are also depicted by a slight NO_3-enrichment. An evolution path for the river water chemistry can be established, as downstream samples in Ribeira Grande river depict a progressive enrichment in $Cl+SO_4$ compared to HCO_3, due to mixture with thermal fluids and the higher marine contribution near the coast, comparing to upstream waters which present silicate weathering dominated compositions, trending to a relative composition similar to cold carbonated waters.

Major-ion fluxes in both rivers are associated to HCO_3 and Na, and the total CO_2 flux in Ribeira Grande (7546 t/yr) is about twice compared to Ribeira Quente (3647 t/yr). These results are important in establishing the overall CO_2 budget in Fogo and Furnas volcano, and call attention to river water chemistry measurements in the running volcanoes surveillance programmes.

In both watersheds numerous cold carbonated and thermal mineral water discharges are spread. The contribution of thermal waters to river chemistry was estimated as respectively 12.8% and 14.9% of the annual average discharge rate in Ribeira Quente and Ribeira Grande. These values, not including the input associated to cold carbonated springs, depict the influence of volcanic-influenced discharges to river water chemistry.

The minimum total CO_2-consumption associated to low-temperature weathering is equal to $0.58x10^6$ mol/km^2/yr in Ribeira Quente and equal to $0.78x10^6$ mol/km^2/yr in Ribeira Grande river, been both values constrained by SiO_2 solubility. Those figures fall within the lower range of values previously determined for andesitic and basaltic terrains worldwide, and suggests the influence of other mechanisms that limits weathering, as soil thickness and residence time. Comparing the CO_2-

consumption to gaseous emanations in Furnas volcano due to volcanic degassing, it is possible to conclude that Furnas volcano is a net contributor of CO_2 to atmosphere.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors are grateful for the very valuable suggestions provided by all the anonymous reviewers and the Editor-in-Chief (Dr. Damia Barceló) that helped to improve very significantly the original manuscript. P. Freire is grateful to Fundo Regional da Ciência e Tecnologia (Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos) for the funding of project M3.1.2/F/017/2008.

REFERENCES

Berner EK, Berner RA., 2012. Global environment. Water, air and geochemical cycles. Prrinceton University Press, Princeton.

Bluth GJS, Kump LR., 1994. Lithological and climatic controls of river chemistry. Geochim. Cosmochim. Acta 58, 2341-2359.

Booth B, Croasdale R, Walker G., 1978. A quantitative study of five thousand years of volcanism on São Miguel, Azores. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 288, 271-319.

Chen M, Chen J. Sun F., 2008. Agricultural phosphorus flow and its environmental impacts in China. Sci. Total Environ. 405, 140-152.

Cole PD, Queiroz G, Wallenstein N, Gaspar JL, Duncan AM, Guest JE., 1995. An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. J. Volcanol. Geotherm. Res. 69, 117-135.

Cruz JV, França Z., 2006. Hydrogeochemistry of thermal and mineral springs of the Azores archipelago (Portugal). J. Volcanol. Geotherm. Res. 151, 382-398.

Cruz JV, Coutinho RM, Carvalho MR, Oskarsson N, Gislason SR., 1999. Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. J. Volcanol. Geotherm. Res. 92, 151-167.

Cruz JV, Pacheco D, Coutinho R, Cymbron R, Mendes S, Antunes P, Fontiela J, Freire P., 2010a. Chemical monitoring of river water bodies in an EU outermost region: examples from the Azores archipelago (Portugal). J. Environ. Monit. 12, 2216–2225.

Cruz JV, Freire P, Costa A., 2010b. Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). J. Volcanol. Geotherm. Res. 190, 353-364.

Cruz JV, Silva, MO, Dias, MI, Prudêncio MI., 2013. Groundwater composition and pollution due to agricultural practices at Sete Cidades volcano (Azores, Portugal). App. Geochem. 29: 162-173.

Drever JL., 1994. The effect of land plants on weathering rates of silicate minerals. Geochim. Cosmochim. Acta 58, 2325-2332.

DROTRH-INAG., 2001. Plano Regional da Água. Relatório técnico. DROTRH-INAG, Ponta Delgada. (in Portuguese).

Dupré B, Gaillardet J, Rousseau D, Allègre CJ., 1996. Major and trace elements of river-borne material: the Congo basin. Geochim. Cosmochim. Acta 60, 1301-1321.

Edmond JM, Palmer MR, Measures CI, Grant B, Stallard RF., 1995. The fluvial geochemistry and denudation rates of the Guyana shield in Venezuela, Colombia and Brazil. Geochim. Cosmichim. Acta 59, 3301-3325.

Edmond JM, Palmer MR, Measures CI, Brown ET, Huh Y., 1996. Fluvial geochemistry of the eastern slope of the northeastern andes and its foredeep in the drainage of the Orinoco in Colombia and Venezuela. Geochim. Cosmochim. Acta 60, 2949-2975.

Edmond JM, Huh Y., 1997. Chemical weathering yields from basement and organic terrains in hot and cold climates. In: Ruddiman WF (ed.), Tectonic uplift and climate change, Springer, New York, 329-351.

Edwards A, Hooda P., 2008. Farmyard point discharges and their influence on nutrient and labile carbon dynamics in a second order stream draining through a dairy unit. J. Environ. Management 87, 591-599.

Elbaz-Poulichet F, Seyler P, maurice-Bourgoin L, Guyot J-L., Dupuy C., 1999. Trace element geochemistry in the upper Amazon drainage basin (Bolivia). Chem. Geol., 157, 319-334.

Ferreira T, Oskarsson N., 1999. Chemistry and isotopic composition of fumarole discharge of Furnas caldera. J. Volcanol. Geotherm. Res. 92, 169-179.

Gaillardet J, Dupré B, Louvat P, Allègre CJ., 1999. Global silicate weathering and CO_2 consumption rates deduced from the chemistry of large rivers. Chem. Geol. 159, 3-30.

Gaillardet J, Viers J, Dupré B., 2005. Trace elements in river waters. In: Drever JI (ed.), Surface and ground water, weathering, and soils, Treatise on geochemistry, 5, Elsevier, Amsterdam,225-272.

Gibbs RJ., 1970. Mechanism controlling world water chemistry. Science 170, 1088-1090.

Gislason SR, Arnorsson S, Armannsson H., 1986. Chemical weathering of basalt in Soutwest Iceland: effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. Amer. J. Sci. 296, 837-907.

Goldsmith ST, Carey AE, Lyons WB, Hicks DM., 2008. Geochemical fluxes and weathering of volcanic terrains on high standing islands: Taranaki and Manawatu- Wanganui regions of New Zealand. Geochim. Cosmochim. Acta 72, 2248-2267.

Goldsmith ST, Carey AE, Johnson BM, Welch SA, Lyons WB, Mcdowell, WH, Pigott JS., 2010. Stream geochemistry, chemical weathering and CO_2-consumption potential of andesitic terrains, Dominica, Lesser Antilles. Geochim. Cosmochim. Acta 74, 85-103.

Guest JE, Gaspar JL, Cole PD, Queiroz G, Duncan AM, Wallenstein N, Ferreira T, Pacheco JM., 1999. Volcanic geology of Furnas volcano, São Miguel, Azores. J. Volcanol. Geotherm. Res. 92, 1-29.

Hartmann J. 2009., Bicarbonate-fluxes and CO_2-consumption by chemical weathering on the Japanese archipelago – application of a multi-lithological model framework. Chem. Geol. 265, 237-271.

Hem JD., 1992. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. US Geological Survey Water-Supply paper 2254, Washington.

Hurwitz S, Evans WC, Lowenstern JB., 2010. River solute fluxes reflecting active hydrothermal chemical weathering of the Yellowstone Plateau Volcanic Field, USA. Chemical Geol. 276, 331-343.

Ingebritsen SE, Galloway DL, Colvard EM, Sorey ML, Mariner RH., 2001. Time-variation of hydrothermal discharge ate selected sites in the western United States: implications for monitoring. J. Volcanol. Geotherm. Res. 111, 1-23.

Jarvie H, Haygarth P, Neal C, Butler P, Smith B, Naden P, Joynes A, Neal M, Wickham H, Armstrong L., 2008. Stream water chemistry and quality along an upland–lowland rural land-use continuum, south west England. J. Hydrol. 350, 215-231.

Langmuir D., 1997. Aqueous environmental geochemistry. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

LNEC., 1992. Avaliação das disponibilidades hídricas da ilha de S. Miguel (Açores). Relatório 217/92-NHHF, LNEC, Lisboa. (in Portuguese)

Louvat P, Allègre CJ., 1997. Present denudation rates on the island of Réunion determined by river geochemistry. Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions. Geochim. Cosmochim. Acta 61, 3645-3669.

Louvat P, Allègre CJ., 1998. Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island. Chem. Geol. 148, 177–200.

Louvat P, Gislason, SR, Allègre CJ., 2008. Chemical and mechanical erosion rates in Iceland as deduced from river dissolved and solid material. Amer. J. Sci. 308, 679-726.

McCleskey RB, Nordstrom DK, Susong DD, Ball, JW, Holloway JM., 2010a. Source and fate of inorganic solutes in the Gibbbon River, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. I. low-flow discharge and major solute chemistry. J. Volcanol. Geotherm. Res. 193, 189-202.

McCleskey RB, Nordstrom DK, Susong DD, Ball, JW, Taylor HE., 2010b. Source and fate of inorganic solutes in the Gibbbon River, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. II. trace element chemistry. J. Volcanol. Geotherm. Res. 196, 139-155.

Meybeck M., 1986. Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. Sci. Géol. Bull. 39, 3-77. (in French)

Meybeck M., 1994. Origin and variable composition of present day riverborne material. In: Material fluxes on the surface of the Earth. National Academy Sciences, Washington, 61-73.

Meybeck M., 2005. Global occurrence of major elements in rivers. In: Drever JI (ed.), Surface and ground water, weathering, and soils, Treatise on geochemistry, 5, Elsevier, Amsterdam, 207-223.

Meybeck M, Helmer R., 1989. The quality of rivers from pristine stage to global pollution. Paleogeography, Plaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section) 75, 283-309.

Moore RB., 1990. Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. Bull. Volcanol. 52, 602-614.

Neal, C., Neal N., Hill L, Wickham H., 2006. River water quality of the River Cherwell: An agricultural clay-dominated catchment in the upper Thames Basin, southeastern England. Sci. Total Environ. 360, 272-289.

Old G, Leeks G, Packman J, Smith B, Lewis S, Hewitt E., 2006. River flow and associated transport of sediments and solutes through a highly urbanised catchment, Bradford, West Yorkshire. Sci. Total Environ. 360, 98-108.

Pacheco J., 1995. Caracterização do depósito vulcânico Furnas-C e seu contributo para a análise do hazard associado à actividade do vulcão das Furnas. MSc Thesis, Univ. Açores, Ponta Delgada. (in Portuguese with English abstract)

Parkhurst DL, Appelo CAJ., 1999. User's guide to phreeqc (version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations water-Resources Investigations Report 99-4259, USGS, Denver.

Rad S, Allègre CJ, Louvat P., 2007. Hidden erosion on volcanic islands. Earth Planetary Sci. Letters, 262 109-124.

Rad S, Rivé K, Allègre CJ., 2011. Weathering regime associated with subsurface circulation on volcanic islands. Aquat. Geochem. 17, 221-241.

Robson M, Spence K, Beech L., 2006. Stream quality in a small urbanised catchment. Sci. Total Environ. 357, 194-207.

Schopka HH, Derry, LA, Arcilla, CA., 2011. Chemical weathering, river geochemistry and atmospheric carbon fluxes from volcanic and ultramafic regions on Luzon Island, the Philippines. Geochim. Cosmochim. Acta 75, 978-1002.

Schopka HH, Derry L., 2012. Chemical weathering fluxes from volcanic islands and the importance of groundwater: the Hawaiian example. Earth and Planetary Science Letters 339-340, 67-78.

Stallard RF., 1985. River chemistry, geology, geography and soils in the Amazon and Orinoco basins. In: Drever JI (ed.), The chemistry of weathering, D. Reidel, Dordrecht, Holland, 293-316.

Stallard RF, Edmond JM., 1983. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. J. Geophy. Res. 88, 9671-9688.

Stéfanson A, Gislason SR., 2001. Chemical weathering of basalts, southwest Iceland: effect of rock crystallinity and secondary minerals on chemical fluxes to the ocean. Amer. J. Sci. 301, 513-556.

Strandmann K, Burton W, James RH, Calsteren P, Gislason SR., 2010. Assessing the role of climate on uranium and lithium isotope behaviour in rivers draining a basaltic terrain. Chem. Geol. 270, 227-239.

Viveiros F, Ferreira T, Cabral Vieira J, Silva C, Gaspar JL., 2008. Environmental influences on soil CO_2 degassing at Furnas and Fogo volcanoes (São Miguel Island, Azores archipelago). J. Volcanol. Geotherm. Res. 177, 883-893.

Viveiros F, Cardellini C, Ferreira T, Caliro S, Chiodini G, Silva C., 2010. Soil CO_2 emissions at Furnas volcano, São Miguel Island, Azores archipelago: Volcano monitoring perspectives, geomorphologic studies, and land use planning application. J. Geophy. Res. 115, B12208, doi:10.1029/2010JB007555.

Viveiros F, Cardellini C, Ferreira T, Silva C., 2012. Contribution of CO_2 emitted to the atmosphere by diffuse degassing from volcanoes: the Furnas Volcano case study. Int. J. Global Warming 4, 287-304.

Wallenstein N., 1999. Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S.Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. PhD Thesis, University of Azores, Ponta Delgada. (in Portuguese with English abstract).

Van der Weijden CH, Pacheco F., 2003. Hydrogeochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island. J. Hydrol. 283, 122-145.

White AF, Blum AE., 1995. Effects of climate on chemical weathering in watershed. Geochim. Cosmochim. Acta 59, 1729-1747.

7.2 | PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA - *SPRING GEOCHEMISTRY IN AN ACTIVE VOLCANIC ENVIRONMENT (SÃO MIGUEL, AZORES): SOURCE AND FLUXES OF INORGANIC SOLUTES*

Spring geochemistry in an active volcanic environment (São Miguel, Azores): source and fluxes of inorganic solutes

Freire, P, C Andrade, R Coutinho, JV Cruz

Redrafted from : Science of the Total Environment 466–467 (2014): 475–489

ABSTRACT

Mineral waters were monthly sampled in selected springs from Furnas and Fogo trachytic central volcanoes (São Miguel, Azores, Portugal). Water temperatures between 15.1ºC and 90.2ºC, characterize poorly mineralized waters of Na-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl types.

According to the spring location, two watersheds were selected in each volcano to evaluate solute fluxes and chemical weathering rates (Fogo volcano: Ribeira Grande river - RRG; Furnas volcano: Ribeira Quente river - RRQ). Na, Mg, K and Ca fluxes in groundwater represented 43%, 60%, 46% and 57% of the total (subsurface plus surface fluxes) in RRG, and respectively 43%, 53%, 46% and 49% in RRQ. Average HCO3 flux is ten times higher in RRQ (130.1x106 mol/yr) comparing to RRG (13.8x106 mol/yr), reflecting the volcano degassing and the lower ratio between groundwater and river water fluxes. Based on these values, total CO_2-consumption by weathering ranged from 1.5x106 mol/km^2/yr (RRG) to 4x106 mol/km^2/yr (RRQ).

TDS load varied between 3772 t/yr (RRG) and 15388 t/yr (RRQ), and the ratio between values in groundwater and in surface water is respectively equal to 0.72 and 2.04. The associated chemical weathering rates in groundwater were 206 t/km^2/yr (RRG) and 399 t/km^2/yr (RRQ). Coupled to river water, these values indicate total chemical weathering rates respectively equals to 493 t/km^2/yr and 594 t/km^2/yr. A similar approach developed for the entire archipelago showed that the chemical weathering rates due to groundwater are in the range from 33 to 321 t/km^2/yr, being partially controlled by the age of the islands.

Results of the present study point out to the need to consider groundwater solute fluxes due to weathering when establishing geochemical budgets.

1. INTRODUCTION

Groundwater discharging in springs has been studied worldwide due to its importance for public water supply and recreational uses. The origin of springs have historically drawn attention from water scientists (LaMoreaux 2001) and several classification schemes have been proposed regarding special features, as average discharge, geological setting, water geochemistry, and water temperature (Pitts

and Alfaro 2001; Kresic 2010). Recent classification schemes reflect also cultural and ecological aspects (Springer et al. 2008; Springer and Stevens 2009).

The spring discharge of volcanic aquifers are intense comparable to the magnitude of limestone springs (Meinzer, 1927). In the Azores, some springs present average annual discharges as high as $6.76x10^{-2}$ m^3/s (Terceira island; AHA-SRAM 2011), but four orders of magnitude lower that the first-order magnitude springs (>10 m3/s) estimated by Meinzer (1927).

Mineral water springs are widely spread in active volcanic regions, presenting a large range of chemical features and dissolved solids content and subject of multiple uses. As a result, the associated discharges have been the subject of several studies for characterizing the source of dissolved solutes in dormant volcanoes or during eruptive events (Shevenell and Goff 1993; Goff et al. 2000; Valentino and Stanzione 2003; Varekamp et al. 2001; Tassi et al. 2003; Evans et al. 2006; Grassa et al. 2006; Minissale et al. 2007; D´Alessandro et al. 2008; Dotsika et al. 2009). Mineral water resources are studied also due to several useful applications, as for example spas and heat production, as well as a tool in geothermal resources and volcanic monitoring investigations.

Groundwater role has been extensively described (Tóth 1999), and the total mass of solutes transported due to weathering can be very high (LaFleur 1999, Lamb et al. 2006). Solute fluxes and the amount of CO_2-consumption associated to weathering due to groundwater circulation is very high comparing to values obtained through more traditional approaches, mainly based on river water chemistry. Therefore, putting groundwater in the overall equations, total chemical weathering fluxes from volcanic islands will be higher, as shown in Hawaii, where CO_2-consumption explained by river waters is equal to 965 mol/yr, while adding groundwater discharge is as high as 1475 mol/yr (Schopka and Derry 2012). A similar effect have been described in the Lesser Antilles and Réunion island case studies (Rad et al. 2011).

Spring water chemistry can be used to approach weathering rates (Rademacher et al. 2005, Pacheco and Van der Weidjen 2002, Van der Weidjen and Pacheco 2003). However, in the case of springs, Frisbee et al. (2013) have shown that spring water can integrate contributions from several sources, and that the groundwater fraction is always important but in certain cases far from dominant.

The Azores archipelago is located in the North Atlantic, about 1500 km from Portugal mainland, and is composed of nine volcanic islands, spread along a 600 km-long NW-SE trending lineament (Fig. 1). The archipelago has a total surface area of 2,333 km^2, ranging between 17 and 747 km^2 considering all the nine islands, and 246,746 inhabitants (year 2011), mainly living at São Miguel. São Miguel is the largest of the nine volcanic islands that made the Azores archipelago, and is located between 37º55´N to 37º04´N of latitude and 25º52´W to 25º08´W of longitude, with an area of about 747 km^2 and 137,699 inhabitants (year 2011) (Fig. 1).

All of the islands are of volcanic origin, and only in Santa Maria, the easternmost island of the Azores, sedimentary units are interbedded in the volcanic succession. The maximum age observed on the archipelago is 8.12 Myr on Santa Maria island (Abdel-Monen et al. 1975, and since its settlement in the 15th century, about 30 eruptions have occurred.

In the Azores, mineral water springs occur in seven of the nine islands (São Miguel, Terceira, São Jorge, Pico, Faial, Graciosa and Flores), and a recent study have shown that from the 101 discharges identified in the archipelago, from which 74% corresponds to springs, 75% of them located at São Miguel. The remaining springs are more or less homogeneously spread among the other islands (Cruz et al. 2010a). Drilled wells and boiling pools at fumarolic fields are both about 10%, and hand-dug wells explain only 2% of the total discharges.

Several studies have been published in the international literature about mineral water chemistry in the Azores (Cruz et al. 1999; Cruz 2003; Cruz and França 2006; Carvalho et al. 2006, 2011; Morell et al 2008; Cruz et al. 2010a) that have followed some previous comprehensive contributions (Acciaiuoli 1940; 1952, 1953; Carvalho 1955; Bencini et al. 1982). Nevertheless, minor attention has been given to solute fluxes in waters discharging from active volcanoes in the Azores, and, namely in São Miguel, only a few contributions have been published regarding this subject in what concerns mineral waters (Cruz et al. 1999) and fluvial geochemistry (Louvat and Allègre 1998; Strandmann et al. 2010).

Therefore, the main objective of the present study is (1) to present the source of dissolved solutes in selected mineral water springs from Fogo and Furnas central volcanoes on the island of São Miguel, where the majority of mineral discharges from the Azores archipelago are located, (2) estimate the annual fluxes of CO_2 and selected solutes on those springs, (3) evaluate the ratio between fluxes associated to groundwater discharge and runoff and (4) compare results with estimates for groundwater fluxes to ocean in the Azores archipelago. The present paper depicts the first estimates of solute fluxes in groundwater to oceans in the Azores archipelago, and results are also of significance for the development of mineral water resources development in the Azores. A companion paper on solute fluxes in river waters on those active volcanoes was presented by Freire et al. (2013).

2. GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL SETTING

2.1. Geology

The current geology of the island of S. Miguel is dominated by three central active volcanoes, of trachytic nature, including the volcanoes of Sete Cidades, Fogo and Furnas, linked together by rift zones. Moore (1991a) individualized six distinct volcanic areas on the geological map of S. Miguel, namely, from W to E, Sete Cidades, Picos, Fogo, Achada das Furnas, Furnas and Povoação-Nordeste, where the oldest lavas of the island outcrop with 4.01 Myr, dated by Abdel-Monen et al. (1975). These regions correspond to distinct geomorphological zones and coincide approximately with the spatial expression of the volcanic systems responsible for the construction of the island (Pacheco et al. 2013).

The activity of the three central active volcanoes, in the last 5000 years is evidenced by the occurrence of 57eruptions which issued 4.6 Km^3 of dense rock (Booth et al. 1978).

Located in the central part of the island, the Fogo volcano is the largest of the three active central volcanoes, with an area of 133 km^2 and a maximum height of 947 m. The top of this volcano presents itself truncated by a caldera with a diameter of approximately 3.2 km and an area of approximately 4.8 km2 and whose walls have heights between 10 m and 370 m in relation to the base of the depression (Wallenstein, 1999). Inside the caldera it is possible to observe a pumice cone and several domes, whereas the flanks of the volcano are covered by thick pyroclastic deposits of trachytic nature (s.l.), and it is still possible to observe alignments of cinder cones and lava domes reflecting a predominant structural direction or the occurrence of domes associated to circular faults (Wallenstein, 1999).

The oldest age for the materials that form the basis of the Fogo volcano (280,000 ± 140,000 yr) was obtained in submarine lavas (Muecke et al. 1974). Nonetheless, the oldest rock that outcrops in the massif belongs to a lava dome and has an age of 181,000 ± 15,000 yr B.P. (Gandino et al. in Moore 1990, 1991b).

Furnas is the easternmost of the three central active volcanoes of S. Miguel. Furnas is bound to the east to the Nordeste volcanic complex and to Povoação caldera and to the west its products interdigitate with lavas from Achada das Furnas rift (Guest et al. 1999). Nowadays Furnas volcano is topped by a big depression where two calderas are recognized: an older caldera, about 7x4.5 km and caldera walls with heights that reach 500 m, and a 5.5x3.5 km younger caldera partially filled by a 2 km^2 lake (Pacheco et al. 2013).

The eruptive record of the Furnas volcano dates more than 93,000 yr (Moore, 1990). Its eruptive history is well observed along the coast on the southern flank of the volcano and shows that it was originated in sub-aerial environment as a result of predominantly explosive trachytic activity which is in agreement with the fact that 90% of the exposed materials are pyroclastic deposits (Cole et al. 1995).

The growth of the Furnas central volcano started about 100,000 years ago, mainly as a result of eruptions of trachytic pumice, and the majority of the outcrops in the western caldera wall postdate a 48,000±4,000-year-old lava flow (Moore 1990). In the last 5,000 years, at least ten explosive eruptions took place in Furnas, two of which were accompanied by extrusion of trachytic domes (Booth et al. 1978), corresponding with the major event of the Furnas C deposit (Pacheco 1995). The last eruption at Furnas, dated at 1630 AD, occurred in the southern part of the caldera and had an explosive phase which produced a tuff/pumice ring complex (Cole et al. 1995). Nevertheless, the first eruption recorded in historical accounts by the first inhabitants of São Miguel dated from 1439–1443 AD (Queiroz et al. 1995).

2.2. Hydrogeology

There are two major aquifer systems responsible for groundwater occurrence in the Azores (Cruz 2003, 2004): (1) the basal aquifer system, corresponding to fresh-water lenses floating on underlying salt water, and (2) perched-water bodies. Generally presenting a very low hydraulic gradient, the basal aquifer system is situated in the coastal area, and ground water is obtained from drilled wells. It is possible to suggest that a hydraulic liaison occurs with the perched-water bodies at altitude, with an eventual release of water to the basal unit.

These perched-water bodies consist of pervious units, with impermeable to very low permeable layers at the bottom, and whenever topographic conditions are favorable are drained out by numerous springs in the volcano slopes. Therefore, these aquifers at altitude correspond to unconfined or leaky layers, the latter likely to lose water through aquitards bounding them in the bottom. The existence of dike-impounded aquifers is not supported by evidence, as in the Hawaiian conceptual model for volcanic islands (Peterson 1972); nevertheless, and considering the present information, such hypothesis is also not excluded (Cruz and Silva 2001).

Perched-water bodies on São Miguel Island are drained by 1100 cold-water springs, predominantly in the flanks of the central volcanoes, such as Sete Cidades. Discharge is, commonly, higher in springs originating from lava flow aquifers, when compared to aquifers composed of pyroclastic deposits. Observation has evidenced that, in the case of São Miguel island, the average summer discharge in lava flow aquifers is about $5.6x10^{-3}$ L/s, higher than $3.82x10^{-4}$ L/s observed in springs from pyroclastic formations (Paradela 1980). Spring discharge in winter and summer seasons present accentuated differences, reflecting a seasonal influence: at the Sete Cidades aquifer system the average discharge is 0.48 L/s during winter and 0.23 L/s in the summer.

Specific well capacity at São Miguel ranges between 0.49 and 100 L/s.m, with a median value of 1.1 L/s.m (Cruz 2004; Cruz et al. 2011). Those wells are drilled in basaltic lava flows, which generally are thin and fractured with frequently interbedded clinker layers. Transmissivity range is $5.98x10^{-4}$ to $1.22x10^{-1}$ m^2/s, with a median value of $1.35x10^{-3}$ m^2/s, and about 45.4% of the estimates can be considered as intermediate values from $1.16x10^{-4}$ to $1.16x10^{-3}$ m^2/s (Krásný 1993).

Groundwater resources are estimated at 370 Mm^3/yr with recharge rates in the range between 16% and 45% for the six groundwater bodies in São Miguel, the latter being the highest value observed at Ponta Delgada – Fenais da Luz aquifer system (Cruz 2004).

3. METHODOLOGY

Mineral waters were monthly sampled in selected springs from Furnas and Fogo trachytic central volcanoes between February 2010 and October 2011 (Fig. 1). In total, 22 springs were sampled, 18 of which from Furnas area, and more than 50% of the springs present an average discharge lower than

0.2 L/s along the studied period (Fig. 2A). Only 15% of the samples present average discharges higher than 1.2 L/s. The majority of the springs discharge from perched-water bodies, as shown by the altitude distribution, and 80% are located in the range between 144 and 215 m a.s.l. (Fig. 2B).

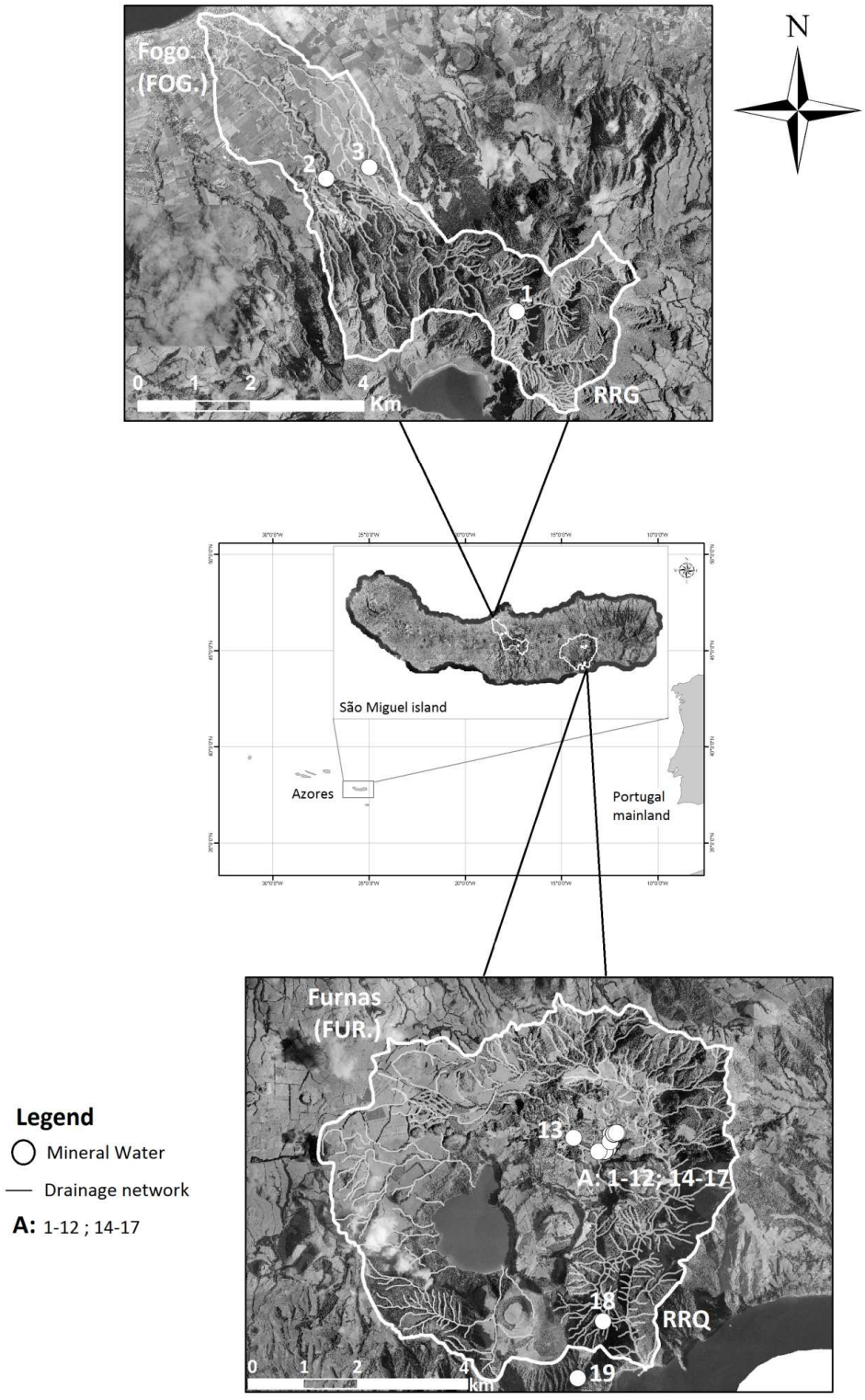


Figure 1 – Location of the studied areas. São Miguel Island is shown on the centre of the image, in the context of the Azores archipelago. Sample location in both studied areas are shown on top (FOG samples; RRG is the Ribeira Grande river watershed) and bottom (FUR samples; RRQ is the Ribeira Quente river watershed).

Temperature, pH and electrical conductivity measurements, as well as free CO_2 and alkalinity titrations, were conducted in the field with specific portable equipment. Free CO_2 titration is made by adding NaOH (1/44M) to a 100 mL aliquot until the pH reach a value of 8.3, and after the end-point multiply the final volume of titrant by 10. Alkalinity titration is made by adding H_2SO_4 (0.05M) until a pH end-point of 3.83 (4.45 in cold samples), and after multiply the titrant volume by 50. Both methods for free CO_2 and alkalinity titrations follow APHA-AWWA-WPCF (1985).

During field work the spring discharge was also measured using a volumetric recipient, and for that purpose five measurements were consecutively made in each point. Atomic absorption spectrometry was used for cationic analysis, ion chromatography for anionic determination, in both cases after sample filtration in the field with 0.45 μm filters. Samples for atomic absorption analysis were acidified with suprapur® nitric acid immediately after sampling. Silica was analysed by spectrophotometry, using the silicomolybdic method.

4. RESULTS

The major-ion composition statistical data (minimum; maximum; average; median), as well as results for master variables (temperature, pH, electrical conductivity; dissolved CO_2) and SiO_2 content, are shown in Table 1. The charge-balance errors show that the majority of the samples are within ±10% of balance.

Table 1 - Groundwater chemical data statistics (n=21) regarding main variables (temperature, pH, electrical conductivity, dissolved CO_2) and major-ion composition (Min. - minimum; Max. - maximum).

Ref	Spring	Statistics	Q L/s	T ºC	pH	Cond. µS/cm	CO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl mg/L	SO_4 mg/L	HCO_3 mg/L	NO_3 mg/L	F mg/L	SiO_2 mg/L
FUR.1	Miguel Henriques	Mín.	0.25	20.3	5.17	365.0	592.8	40.37	21.66	9.99	1.99	19.20	23.40	126.90	0.86	1.56	93.30
		Max.	0.41	22.3	6.10	451.0	802.6	59.98	29.91	17.00	3.28	23.40	41.07	222.00	1.66	2.54	118.98
		Average	0.33	21.4	5.40	415.5	704.0	52.98	25.75	12.51	2.77	20.57	34.05	160.18	1.26	1.96	99.83
		Median	0.33	21.5	5.35	426.0	699.9	53.64	26.37	12.36	2.78	20.33	34.86	162.30	1.26	1.92	98.51
FUR.2	Água Prata	Mín.	0.02	33.0	4.15	336.0	115.1	44.21	8.62	10.94	2.31	10.60	20.21	104.90	0.48	1.05	98.93
		Max.	0.15	59.7	5.78	559.0	541.2	77.64	34.83	19.07	3.56	23.58	68.20	220.80	3.68	1.76	139.08
		Average	0.05	47.1	5.48	380.1	303.7	61.13	23.11	14.70	2.88	18.20	34.36	165.23	2.08	1.39	114.05
		Median	0.03	48.1	5.54	370.0	256.9	60.82	25.95	14.84	2.73	18.42	29.90	164.10	2.08	1.42	116.03
FUR.3	Caldeirão	Mín.	0.26	70.3	5.84	408.0	41.5	75.16	10.06	12.84	1.98	30.02	7.03	134.20		1.91	81.84
		Max.	0.43	78.6	6.49	508.0	198.1	150.36	18.01	22.22	3.02	36.20	27.30	278.20		2.80	169.13
		Average	0.34	73.6	6.11	470.8	84.4	107.59	13.30	15.91	2.57	32.67	12.66	220.82		2.31	119.80
		Median	0.34	74.2	6.07	478.0	72.2	105.04	12.48	15.41	2.65	32.55	10.45	223.90		2.30	118.34
FUR.4	Quenturas I	Mín.	0.14	55.5	6.05	1294.0	173.8	243.41	38.76	36.06	9.76	62.68	8.60	633.20	0.26	2.10	202.30
		Max.	0.21	59.1	6.36	1428.0	425.6	281.69	56.10	55.92	12.59	81.30	26.10	820.40	2.62	5.66	232.03
		Average	0.17	57.8	6.21	1372.9	275.9	262.95	42.45	45.37	11.42	74.36	14.03	743.16	1.15	3.80	211.01
		Median	0.16	57.6	6.19	1375.0	265.3	262.18	40.14	44.13	11.57	74.94	13.31	746.60	0.85	3.88	209.11
FUR.5	Quenturas III	Mín.	0.12	55.2	5.93	1268.0	133.8	240.36	39.22	36.26	10.48	62.83	8.60	670.40	0.84	2.81	180.65
		Max.	0.22	59.3	6.49	1428.0	405.1	272.37	52.26	42.98	11.32	79.80	18.50	791.80	1.12	4.34	217.56
		Average	0.17	57.1	6.23	1351.0	244.1	257.88	47.10	40.73	10.89	74.18	13.23	732.59	0.98	3.66	190.26
		Median	0.16	56.9	6.23	1356.0	221.7	259.02	47.70	40.69	10.88	75.14	13.40	725.30	0.98	3.75	188.56
FUR.6	Torno	Mín.	0.74	39.1	5.72	1345.0	200.8	252.44	27.72	20.56	10.85	75.89	9.36	619.80	0.54	3.98	135.98
		Max.	1.87	41.8	6.40	1534.0	548.8	313.71	38.51	34.29	12.44	95.94	28.80	895.50	0.76	5.84	165.88
		Average	1.41	40.3	6.16	1446.2	393.2	277.75	30.47	27.95	11.41	88.72	13.73	769.50	0.65	4.83	146.08
		Median	1.46	40.1	6.17	1452.0	404.2	275.84	30.05	26.68	11.27	88.49	10.89	771.00	0.65	4.79	144.58
FUR.7	Azeda	Mín.	0.45	15.1	4.91	288.0	733.6	32.93	16.81	10.07	2.99	16.00	11.10	36.00	1.29	1.00	79.40
		Max.	0.66	17.6	5.61	319.0	1308.0	36.02	19.19	12.76	3.90	20.01	20.20	125.70	1.87	1.83	110.54

		Average	0.53	16.4	5.11	301.7	1074.3	33.94	17.80	11.65	3.43	17.45	16.15	94.62	1.58	1.35	94.61
		Median	0.53	16.3	5.09	304.0	1053.0	33.69	17.76	11.64	3.36	17.26	16.25	102.50	1.58	1.30	97.59
FUR.8	**Azeda do Rebentão**	**Mín.**	0.66	15.4	4.92	278.0	819.5	32.92	8.00	9.69	2.78	15.35	16.90	39.70	0.52	1.21	81.29
		Max.	0.98	17.0	5.40	318.0	1264.2	37.35	15.55	11.67	3.48	21.08	25.90	122.00	0.69	3.62	107.86
		Average	0.81	16.1	5.08	304.3	1030.7	35.06	11.59	10.62	3.11	17.80	21.57	88.90	0.59	1.70	87.98
		Median	0.85	16.2	5.07	309.0	1029.0	35.15	11.19	10.71	3.12	17.61	22.25	93.90	0.55	1.43	87.96
FUR.9	**Água do Rego**	**Mín.**	0.02	15.5	4.94	293.0	552.0	36.86	15.69	9.86	2.44	16.47	18.50	39.70	2.76	0.86	84.87
		Max.	0.08	18.6	5.84	331.0	831.0	40.88	20.26	11.33	3.01	26.90	32.21	108.60	6.32	1.89	107.09
		Average	0.06	16.8	5.15	314.4	688.6	38.85	19.03	10.70	2.80	21.31	26.83	83.30	4.52	1.32	89.38
		Median	0.06	16.7	5.13	316.0	696.8	39.15	19.24	10.76	2.84	21.17	27.31	86.60	4.69	1.24	87.97
FUR.10	**Grutinha I**	**Mín.**	0.11	39.0	5.97	1380.0	281.3	282.67	33.34	35.19	11.94	73.95	10.64	703.90	0.62	3.81	134.72
		Max.	0.16	42.0	6.42	1511.0	555.6	321.02	38.29	52.48	13.48	89.10	24.40	892.40	1.00	6.89	170.77
		Average	0.14	40.4	6.10	1463.7	411.9	298.06	36.12	43.80	12.53	83.72	14.37	803.05	0.83	5.10	146.46
		Median	0.14	40.4	6.07	1483.0	389.6	298.57	36.15	43.39	12.49	84.15	12.39	797.90	0.88	5.26	145.05
FUR.11	**Grutinha II**	**Mín.**	0.15	39.4	5.73	1261.0	176.4	241.91	31.87	42.84	10.29	70.94	10.80	633.80	0.95	4.24	135.81
		Max.	1.20	44.0	6.31	1485.0	635.3	309.90	36.14	61.10	11.31	87.07	36.10	849.10	2.32	7.15	175.95
		Average	0.91	41.2	6.08	1410.9	389.7	283.01	33.54	51.75	10.92	80.64	15.18	749.75	1.64	5.21	146.65
		Median	0.96	41.0	6.11	1427.0	364.2	281.69	33.41	51.54	10.97	81.04	13.20	763.10	1.64	5.01	144.58
FUR.12	**Morangueira**	**Mín.**	0.01	30.3	5.76	1546.0	228.8	308.69	33.22	45.72	15.13	81.55	7.81	843.00	0.52	2.65	152.79
		Max.	0.02	39.2	6.78	1699.0	394.8	338.91	54.32	83.34	16.28	102.20	24.20	1095.60	3.22	4.29	187.29
		Average	0.02	36.1	6.36	1650.0	320.3	322.15	38.96	56.77	15.86	95.46	10.63	928.32	1.47	3.06	170.38
		Median	0.02	36.8	6.34	1659.0	311.4	323.38	37.44	55.81	15.95	95.03	8.86	924.80	0.67	2.84	172.42
FUR.13	**Dr. Bruno**	**Mín.**	0.05	17.5	5.75	457.0	129.7	59.78	18.34	25.82	7.39	23.79	4.80	186.60	0.92	1.16	64.86
		Max.	0.07	23.0	6.86	611.0	349.9	89.31	37.09	36.64	10.51	32.67	13.40	318.14	9.79	2.13	106.00
		Average	0.06	19.9	6.11	539.0	231.6	70.69	24.22	29.76	8.79	27.66	8.54	248.64	3.11	1.51	72.34
		Median	0.05	19.8	6.07	552.5	241.6	68.00	21.00	29.95	8.49	27.14	8.56	241.25	1.87	1.38	70.63
FUR.14	**Padre José**	**Mín.**	0.02	56.9	5.83	690.0	131.0	102.32	38.06	14.14	3.32	27.52	28.20	298.90	1.82	1.95	168.16
		Max.	0.05	65.1	6.35	838.0	297.2	124.38	57.34	20.92	4.86	40.65	76.80	372.10	3.47	4.99	260.62
		Average	0.04	60.0	6.04	766.5	184.8	112.97	42.33	17.16	3.93	35.61	57.05	342.21	2.65	3.05	219.89
		Median	0.04	59.4	5.97	768.0	173.9	112.87	41.39	16.90	3.93	36.80	59.09	347.10	2.65	2.84	215.55
FUR.15	**Água Santa**	**Mín.**	0.01	90.2	7.16	757.0	13.8	153.95	18.61	0.95	0.08	55.43	13.02	273.30	0.71	5.08	180.38

		Max.	0.02	98.8	7.76	998.0	70.4	218.20	22.69	11.34	0.66	89.50	45.30	571.00	2.64	7.98	330.48
		Average	0.01	95.4	7.36	907.0	29.8	180.89	20.74	3.97	0.32	80.54	25.74	392.56	1.38	6.04	263.62
		Median	0.01	95.5	7.31	937.0	29.3	177.79	20.89	3.75	0.29	82.29	23.69	377.60	0.78	5.69	285.46
FUR.16	**Dr. Dinis**	**Mín.**	0.05	15.5	5.00	272.0	498.5	34.62	15.60	9.01	2.45	14.46	16.79	33.60	0.45	1.16	94.09
		Max.	0.13	17.6	5.76	345.0	946.2	38.48	20.59	12.54	3.25	23.58	33.00	136.60	0.45	2.21	102.86
		Average	0.08	16.5	5.18	305.0	742.3	36.39	18.30	10.35	2.91	18.39	26.42	92.23	0.45	1.44	98.09
		Median	0.07	16.4	5.13	308.0	740.0	36.28	18.49	10.18	2.91	18.10	27.84	93.90	0.45	1.37	97.06
FUR.17	**Tio José de Sousa**	**Mín.**	0.00	15.5	4.99	326.0	523.0	54.43	18.26	9.70	1.40	16.94	10.40	30.50	19.32	0.95	76.65
		Max.	0.02	18.8	6.13	378.0	846.2	113.36	24.20	17.72	2.69	28.00	33.88	86.60	43.76	1.73	104.00
		Average	0.01	16.9	5.29	354.2	722.9	82.31	21.51	11.36	1.81	23.65	27.17	68.51	32.93	1.21	85.25
		Median	0.01	16.8	5.16	352.0	713.4	79.48	21.85	10.43	1.72	23.68	30.73	72.00	34.14	1.16	84.37
FUR.18	**Ribeira Quente III**	**Mín.**	0.37	43.1	6.33	1156.0	23.8	169.56	23.08	68.70	12.81	99.74	42.90	328.80	0.30	1.00	140.69
		Max.	0.74	46.0	7.21	1376.0	79.6	191.72	26.94	82.40	15.65	158.00	95.40	662.50	1.83	2.50	208.44
		Average	0.51	44.5	6.84	1272.0	59.9	180.88	25.47	75.03	13.99	131.78	57.50	486.82	1.16	1.64	197.49
		Median	0.49	44.3	6.87	1262.0	61.8	181.03	25.57	74.61	14.20	131.40	54.95	476.40	1.36	1.51	203.52
FUR.19	**Azeda do Fogo**	**Mín.**	0.18	17.4	5.63	1030.0	554.8	174.90	34.93	36.67	13.65	50.72	11.30	494.10	1.55	4.17	92.26
		Max.	0.52	19.3	6.32	1234.0	924.6	204.73	37.50	42.77	15.10	81.14	31.80	622.80	5.38	9.70	97.85
		Average	0.35	18.3	5.84	1127.9	788.6	188.18	36.47	39.75	14.45	67.35	16.71	566.67	3.37	6.56	94.80
		Median	0.35	18.3	5.83	1136.0	788.0	188.52	36.79	39.82	14.74	68.95	16.30	563.65	3.31	5.99	95.13
FOG.1	**Lombadas**	**Mín.**	0.65	16.9	5.08	336.0	555.5	50.98	27.21	8.72	3.20	13.70	2.30	137.90	0.57	0.41	100.68
		Max.	1.56	18.8	5.34	395.0	1269.0	59.00	40.84	9.86	3.55	20.60	9.32	215.90	0.68	1.09	103.99
		Average	1.26	18.1	5.25	371.6	960.5	55.15	35.00	9.28	3.37	15.77	4.24	181.11	0.62	0.70	101.47
		Median	1.28	18.2	5.26	372.0	997.6	54.43	34.79	9.23	3.38	15.47	3.73	186.70	0.62	0.61	101.14
FOG.2	**Magarça**	**Mín.**	0.86	18.2	4.60	302.0	499.6	35.18	10.13	7.60	3.35	56.51	5.20	9.80	3.18	0.22	68.58
		Max.	1.92	19.6	5.21	373.0	908.2	52.63	12.15	8.82	4.19	80.90	13.90	59.80	8.04	0.62	78.99
		Average	1.33	18.7	4.86	354.8	673.4	44.35	10.78	8.36	3.97	69.37	8.70	26.86	5.03	0.47	72.61
		Median	1.21	18.7	4.83	362.0	709.1	45.26	10.53	8.42	4.04	70.89	8.66	26.80	4.61	0.46	72.10
FOG.3	**Pocinha**	**Mín.**	0.02	26.8	4.53	229.0	351.6	22.98	9.81	5.02	1.51	19.58	37.80	25.60	0.79	0.05	70.23
		Max.	0.05	29.8	4.85	306.0	789.6	25.75	14.86	10.35	2.68	24.85	70.13	46.40	0.79	0.17	97.45
		Average	0.04	28.2	4.67	245.2	568.7	24.32	13.55	5.86	1.97	22.21	46.25	36.47	0.79	0.11	91.20
		Median	0.04	28.1	4.67	239.0	633.3	24.30	13.74	5.30	1.82	22.63	45.90	36.30	0.79	0.10	91.29

Water temperature range between 15.1ºC and 90.2ºC, however the majority of the samples corresponds to cold to slightly thermal waters, where 45% of the samples have an average value in the interval 12ºC-24ºC (Fig. 2C). Average pH values reveals that the majority of the springs are acid, as only 5% of the average values are higher than 7 pH units but lower than 7.76 (Fig. 2D). About 85% of the springs depict an average value in the range 5-7 pH units.

Generally the springs correspond to poorly mineralized waters as suggested by electrical conductivity values, as 45% of the average values range between 225 and 450 µS/cm (Fig. 2E). The minimum average value is observed in spring FOG.3 (229 µS/cm) and the maximum in spring FUR.12 (1699 µS/cm).

The modal class for total CO_2 corresponds to the interval 738-861 mg/L, being the highest value observed in FUR.19 spring (1106,06 mg/L; Fig. 2F). The partial pressure of CO_2, calculated using PHREEQC software (Parkhurst and Appelo 1999), range between 10-0.86 atm (FOG.2) and 100.29 atm (FOG.3) in Fogo volcano, and 10-1.69 atm (FUR.15) and 100.31 atm (FUR.17) in Furnas. Besides water temperature, CO_2 content in the sampled springs is a factor that differentiates the mineral water discharges sampled in the present study from the usual composition of groundwater in perched-water bodies in the Azores (for the average water composition, with a conductivity equal to 189 µS/cm, the calculated PCO_2 is 10-2.30 atm.; Cruz and Amaral 2004).

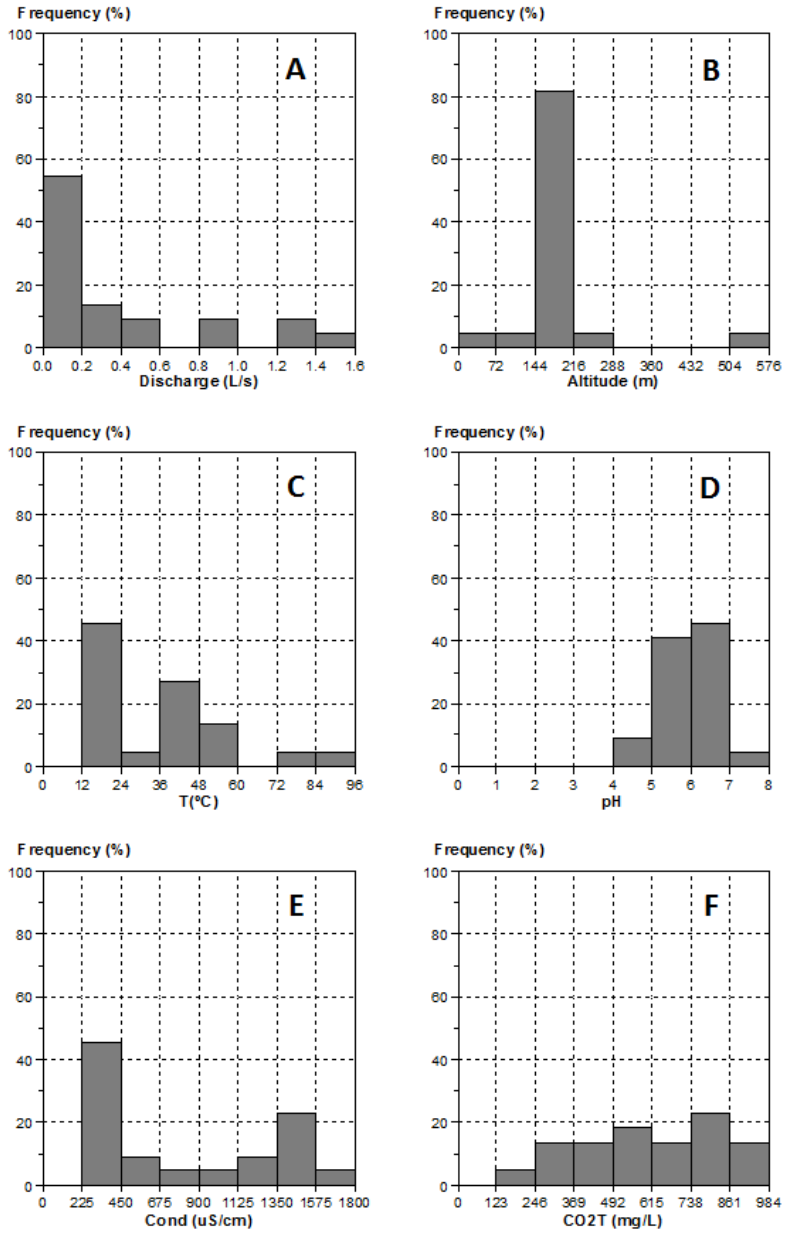


Figure 2 - Histograms for spring discharge (A), altitude (B), temperature (C), pH (D), electrical conductivity (E) and total CO_2 (F).

Groundwater discharging from springs is mainly of the Na-HCO_3 type (Fig. 3). A spring in Furnas (FUR.17) is also from the Na-HCO_3 type, despite depicting a higher chloride content, and two springs in Fogo are respectively from the Na-Cl (FOG.2) and Na-SO_4 (FOG.3) types. From the several plots in Fig. 4 is possible to show two main groups of springs according to water conductivity: a group of waters with conductivity values higher than 1000 µS/cm (springs FUR.4, 5, 6, 10, 11, 12, 18), with a temperature range from 40.3ºC to 95.4ºC, and another group with a water conductivity range from 302 µS/cm to 539 µS/cm in Furnas (Fur.1, 2, 3, 7, 8, 9, 13, 16, 17) and from 245 µS/cm to 327 µS/cm in Fogo (FOG.1, 2, 3). In this latter group, temperature range in Furnas springs from 16.5ºC to 73.6ºC and in Fogo between 18.1ºC and 28.2ºC. Springs 14 and 15 are plotted in an intermediate position regarding the two groups.

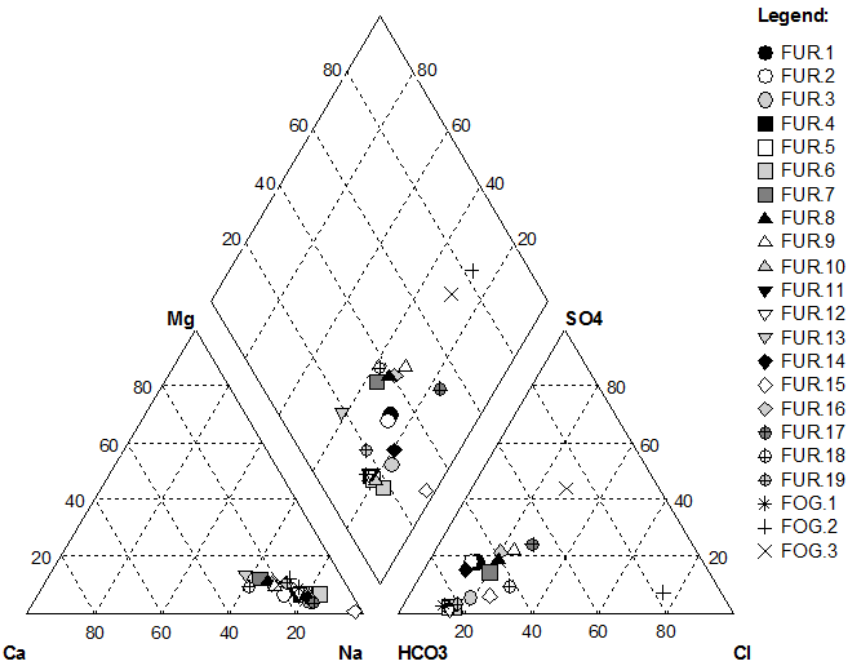


Figure 3 - Major-ion relative composition represented by means of a Piper-type diagram for the several springs sampled.

The highest correlation coefficients between major-ion content and electrical conductivity, the latter representing the overall dissolved solids content, is depicted by Na (r=0.982; Fig. 4A) and HCO_3 (r=0.986; Fig. 4E), suggesting a common source that controls groundwater chemistry, as silicate dissolution (Fig. 4). High correlation coefficients are also computed for Ca (Fig. 4B), Mg (Fig. 4C), K (Fig. 4D), Cl (Fig. 4F), F (Fig. 4H) and SiO_2 (Fig. 4J), suggesting also that these species are also contributing to groundwater composition, mainly as well due to silicate dissolution.

Groundwater during is pathway interacts with diverse type of rocks, and no data is available regarding the full volcanic sequence in depth. As shown in a previous study, regarding the time-gap between precipitation episodes and spring discharge, the residence time in perched-water bodies was estimated in about two months (Cruz 1992), which is consistent with the generally low electrical conductivity values. Nevertheless, a contrast should be pointed out between pumice rocks of trachytic nature and more basic volcanic rocks.

Pumice layers cover large areas on Fogo and Furnas volcanoes, due to the significant number of explosive eruptions that took place in the last 5,000 yr. (Booth et al. 1978). The mineral assemblage of these rocks is dominated in the groundmass and phenocrysts by amphiboles, oxides, apatite, alkali feldspar and biotite (Wallenstein 1999). Zanon et al. (2013) also identified in pumice rocks from Faial island other solid phases as glass, clinopyroxene (aegirine-augite) and amphibole (kaersutite) in the groundmass and have shown that plagioclase phenocrysts exceeds anorthoclase and sanidine.

From the mineral assemblage on pumice rocks, an accounting the weatherability of the several silicates, it should be expected that the plagioclase, the amphibole, the pyroxene and the biotite

mineral phases are the main ion-donors to the waters comparing to alkali feldspar (Berner and Berner 2012; Appelo and Postma 1993). Thus, for example, if the Na/Ca ratio is dependent of the plagioclase composition itself, the molar ratio in solution of Na:K considering weathering to kaolinite is as high as 5:1 due to the lower weathering ratio of alkali feldspar (Garrels and Mackenzie 1967). The incongruent dissolution of biotite will explain a molar ratio in solution of Mg:K:Na equal to 2:1:0.5, and the amphibole a ratio of Mg:Ca:Na equal to 1:0.5:0.25. Therefore, besides HCO_3 and SiO_2, plagioclase dissolution is a major source of Na in solution, and for example assuming a composition of An38, similar to the observed An30 (Zanon et al. 2013), the molar ratio of Na:Ca:HCO_3:SiO_2 is equal to 1:0.61:2.24:2 (Garrels and MacKenzie 1967). Another source of Na, HCO_3 and SiO_2 will be the dissolution of alkali feldspar, aegirine and kaersutite, being for example in the former the resultant molar ratio in solution of Na:HCO_3:SiO_2 equal to 1:1:2.

In what concerns alkali basalts in Fogo volcano, the mineral assemblage in both the groundmass and the phenocrysts is dominated by olivine, clinopyroxene and plagioclases (Wallenstein 1999). Thus, plagioclase dissolution will provide a much lower Na/Ca ratio to solution, as the plagioclase composition is Ca-enriched (An80; Zanon et al. 2013), while the olivine will release Mg as the solid phase composition can be Fo0.70 (Zanon et al. 2013).

Potassium is usually a major-ion in thermal waters, and the partitioning of Na and K between aluminosilicates and the solution is temperature dependent (Ellis and Mahon 1977). The group of springs with higher water conductivity, depicted in Fig. 4D, present a Na/K molal ratio in the range of 8.78 to 15.5, usually higher than the ratio (9.94) for springs discharging from perched-water bodies in the Azores archipelago (Cruz and Amaral 2004). The remaining samples present a ratio Na/K in the range from 3.45 to 6.51 (FUR. springs) and from 2.68 to 7 (FOG. samples). The higher K-content is suggested to be due to water-rock interaction, enhanced by water temperature, as well as with mixing with a hydrothermal end-member in Furnas area (Cruz et al. 2010a), which is consistent with the electrical conductivity measurements.

Nitrate content ranges between 0.26 and 43.76 mg NO_3/L, and 91,5% of the springs comply with the 25 mg/L-recommended value according to Portuguese drinking water standards (Law 236/98,from August 1, 1998), and, in general, are well below the maximum standard value of 50 mg/L. In the Azores archipelago, NO_3 content in groundwater sometimes exceeds the standard values due to agriculture pollution, through both fertilisers application and nitrogen leaching from animal waste in grazed pasturelands (Cruz et al. 2013).

Fluoride content ranges between 0.05 and 9.7 mg F/L, whereas 40.9% of the samples in the range of 1-2 mg F/L. The lowest value corresponds to the FOG.3 spring, while the maximum was sampled in FUR.19 spring. A recent study shown that generally the higher-F content in groundwater samples collected in São Miguel island were closely related with dissolved sodium content, reflecting a

common source associated to silicate weathering in trachytic aquifers, despite in a few cases a clear volcanic input signature was identified, mainly in the Furnas area (Cordeiro et al. 2012).

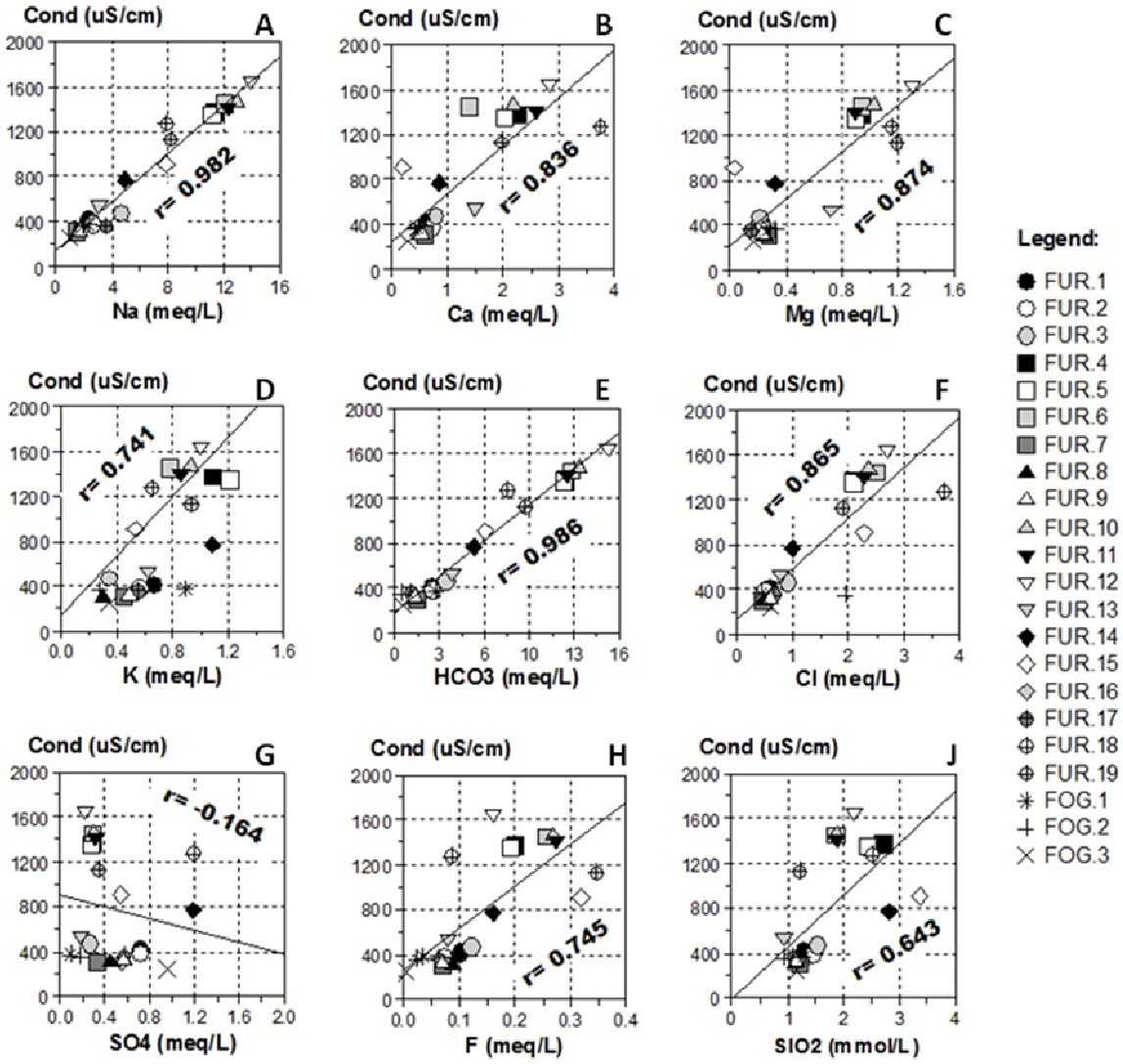


Figure 4 - Relationship between electrical conductivity (in µS/cm) and major-ionic species (in meq/L; linear regression lines are also shown).

5. DISCUSSION

5.1. General hydrogeochemistry

The majority of the samples depict an excess of alkali metals relatively to alkali-earth metals, and show a close relation between Na+K and Ca+Mg (r=0.793; Fig. 5). The sodium enrichment (max=338.9 mg Na/L in FUR.12) is mainly associated to bicarbonate (max=1095.6 mg HCO_3/L in FUR.17), as depicted by the close relationship between both species (r=0.814), which can be explained as a result of silicate weathering in aquifers made of volcanic rocks with an acidic character (Fig. 6).

Other possible source of Na corresponds to seawater spraying, which controls rain water chemistry in coastal areas in general (Berner and Berner 2012), as well as in islands. Nevertheless, as shown by the Na vs. Cl plot, samples deviates from the seawater composition and are plotted well below the seawater line, suggesting another source for Na besides sea salts dilution (Fig. 7). The maximum value of chloride in spring waters is equal to 158 mg Cl/L (FUR.18), which also suggests that the marine contribution is limited.

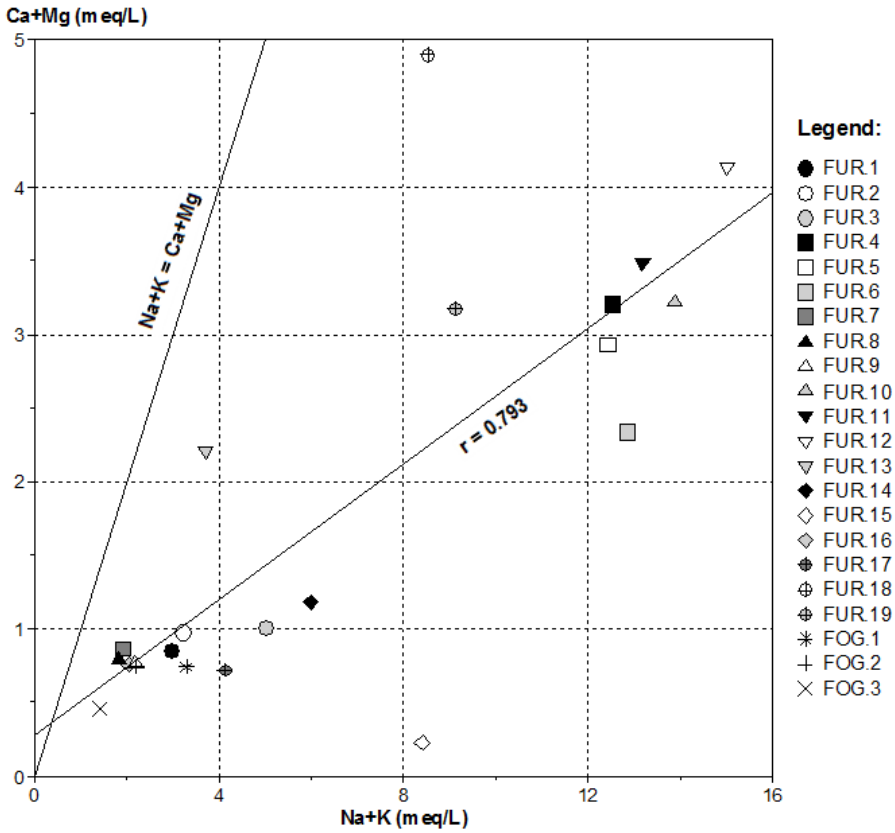


Figure 5 - Na+K (in meq/l) vs. Ca+Mg (in meq/l) plot for the average values of the dataset.

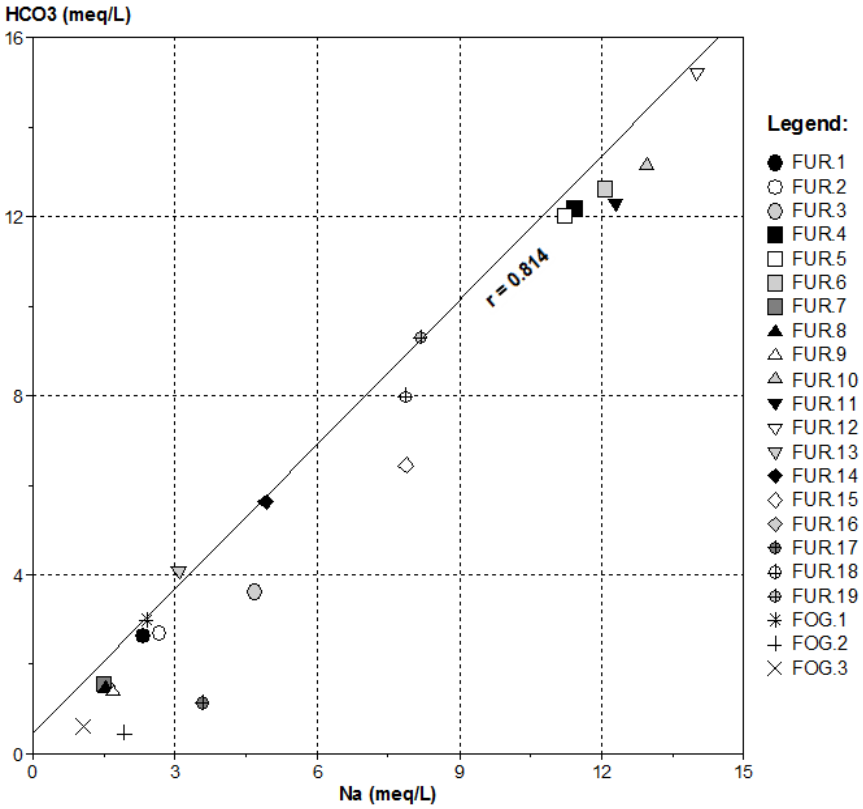


Figure 6 - Na (in meq/l) vs. HCO_3 (in meq/l) plot for the average values of the dataset.

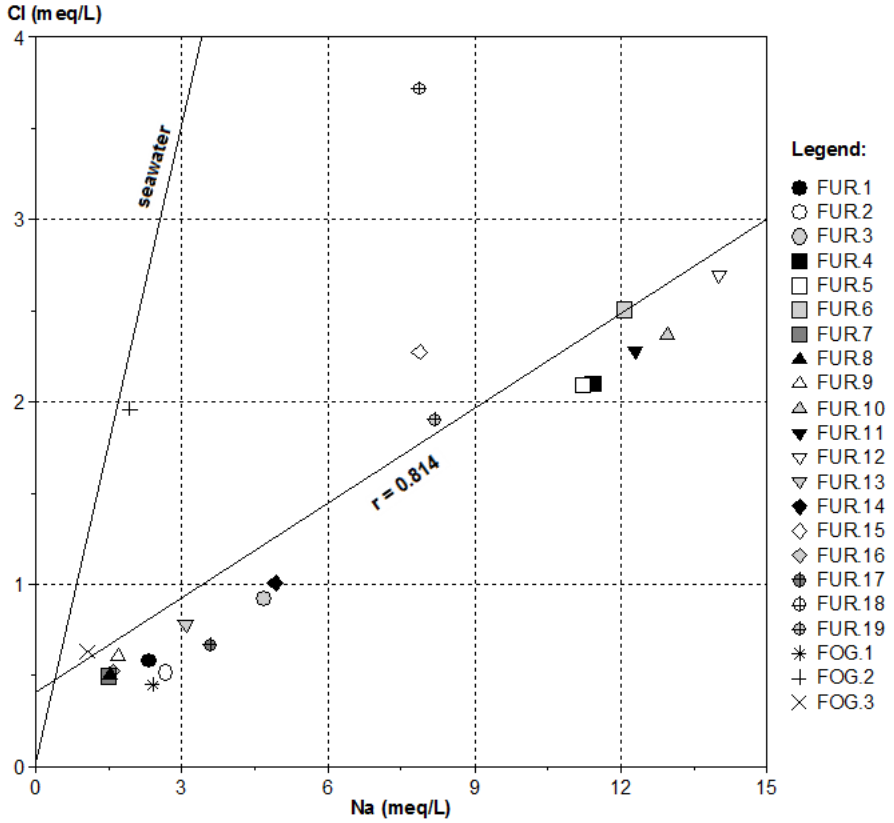


Figure 7 - Na (in meq/l) vs. Cl (in meq/l) plot for the average values of the dataset.

Na-HCO_3 type waters are usually discharged in the periphery of geothermal fields, being the bicarbonate a result of the capture of CO_2-rich gaseous phases in shallow perched-water bodies (Cioni et al. 1992; Chiodini et al. 1996; Lewicki et al. 2000). In these conditions, in volcanic areas, silicate hydrolysis are the most important reactions, through which fluid acidity is neutralized and alkali and alkali-earth metals are added to solution (Evans et al. 2002), and such reactions are the main HCO_3 source to groundwater. For example, dissolution of Na-feldspar and K-feldspar to kaolinite will provide a molar ratio of HCO_3:Na:SiO_2 and of HCO_3:K:SiO_2 in both cases equal to 1:1:2 (Appelo and Postma 1993). As expected, spring water chemistry reflects the composition of the host aquifer from which the spring discharges, but HCO_3 is usually the dominant anion in spring waters independently of the specific characteristics of the geologic setting (White 2010).

Silicate weathering also explains dissolved SiO_2, which ranges in Furnas area from 72.6 (FUR.13 spring) to 263.6 mg SiO_2/L (FUR.15 spring) and in Fogo from 72.6 (FOG.2 spring) to 161.5 mg SiO_2/L (FOG.1 spring), and is enhanced by water temperature. This effect is also depicted by the relationship between SiO_2 content and water conductivity, as the group of thermal springs from Furnas presenting a conductivity higher than 1000 µS/cm (springs FUR.4, 5, 6, 10, 11, 12, 18) are plotted well above the less-mineralized waters (Fig. 4J). The modal class is in the 70-105 mg SiO_2/L range, corresponding to 50% of the samples (Fig. 8). Nevertheless, SiO_2 content can be somehow limited by the saturation state vs. SiO_2 solid phases. In order to investigate this hypothesis, PHREEQC software (Parkhurst and Appelo, 1999) was used, and is possible to show that the majority of the samples are oversaturated in chalcedony and quartz, and undersaturated regarding amorphous SiO_2.

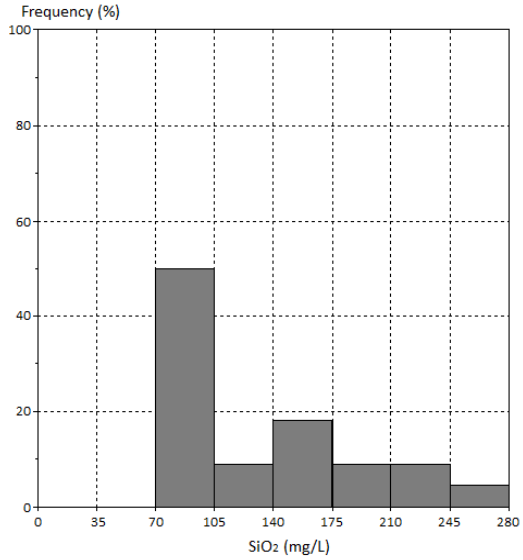


Figure 8 - Histogram for dissolved SiO_2 content in the dataset.

A group of samples depict a SO_4-enrichement independently of Cl comparing to the remaining samples which is plotted closer to the seawater line (FOG.22, FUR.4, 6, 10, 11, 12, 17, 19), therefore representing the marine contribution (Fig. 9). The former trend is associated to mixture with steam-

heated waters and explain a SO_4 content as high as 95.4 mg SO_4/L (FUR.18), comparing to the majority of the samples that present a content in the range between 8-16 mg SO_4/L (40.9%). The springs with this mixture signature, therefore presenting the highest SO_4-content, have a Cl/SO_4 molal ratio respectively equal to 1.3 (FOG.3), 1.69 (FUR.14) and 6.2 (FUR.18), thus much lower comparing to the typical value in perched-water bodies in the Azores (12.42; Cruz and Amaral 2004). The remaining springs present values similar to the perched-water bodies, with values in the range from 8.76 (FUR.13) to 10.06 (FOG.1) in cold waters, and equal to 13.17 in the FUR.12 thermal spring. The high-SO_4 content in those acid steam-heated waters results from oxidation of reduced sulfur species, corresponding to a common process in other active volcanic regions (Nordstrom et al. 2009; Varekamp et al. 2009).

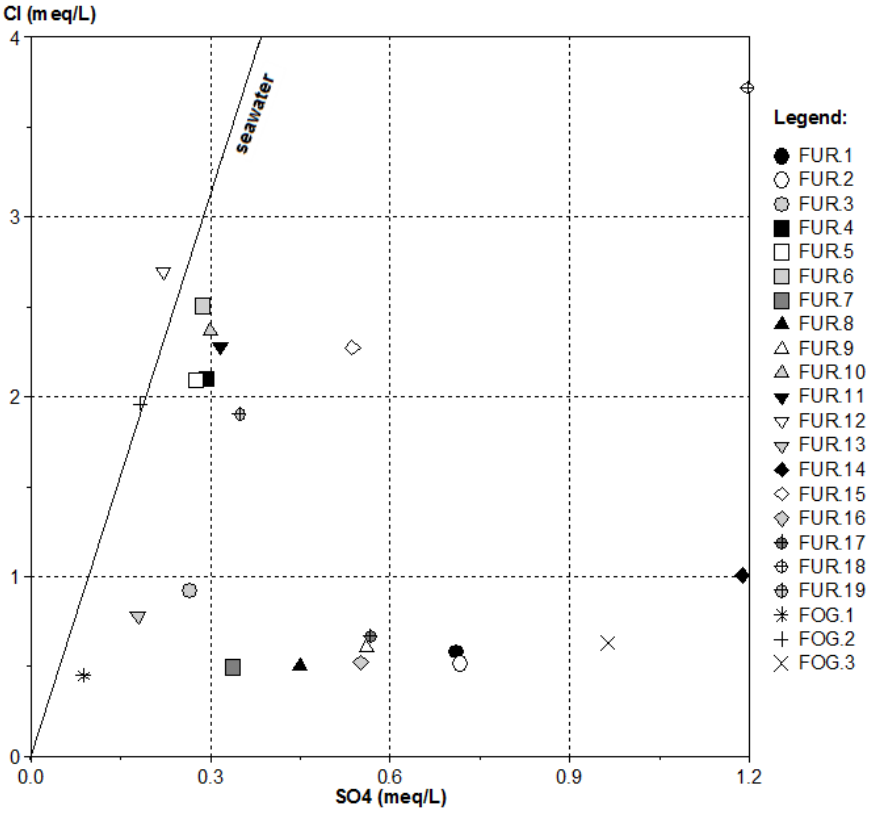


Figure 9 - SO_4 (in meq/l) vs. Cl (in meq/l) plot for the average values of the dataset. Data for seawater composition is from Cruz (1997).

By plotting F content vs. the major alkali earth and alkali metals in groundwater (Fig. 10) it is possible to show the influence of F-lithogenic source, mainly regarding Na (Fig. 10A), which depicts a better close positive linear relation (r=0.768) comparing to Ca (r=0.420; Fig. 10B). The close relation between Na and F can be explained by leaching of volcanic glass in pyroclastic deposits of acidic nature (pumice), as described in other studies (Martínez et al. 2012). Another possible sources is the weathering of other silicate minerals, as amphiboles and biotite (Edmunds and Smedley 2004), and of fluorapatite, which presence was identified in pumice rocks from Faial island (Zanon et al. 2013). The

precipitation of a solid phase such as fluorite is not a limiting factor, disallowing to explain the absence of a clear relationship between F and Ca contents, as only spring FUR.19 is oversaturated (log IS=0.38) comparing for example with spring FUR.15 (log IS=-1.23), the latter with a Ca content an order of magnitude lower. Nevertheless, springs with F content higher than 1.5 meq/L (FUR.4, 5, 6, 10, 11, 12, 18, 19) depict a negative relation between Ca and F (Fig. 10B), opposite to the trend shown by the springs with lower F-content. The former trend was described in other studies, and is explained by the fact that in presence of fluorite the concentration of F is inversely proportional to Ca content (Edmunds and Smedley 2004).

Numerous samples present average values for F content higher than typical values in perched-water bodies in São Miguel (F<2 mg/L; Cordeiro et al. 2012), and springs FUR.15 (average value=6 mg/L) and FUR.19 (average value=6.56 mg/L) have contents similar to the highest values reported in other studies (springs Lobeira, 5.1 mg F/L, Cordeiro et al. 2012; spring PF-19, 6.4 mg F/L, Cruz et al. 1999), excluding boiling pools. For those higher values, and besides the weathering of silicates which is enhanced by the higher water temperature, a F-enrichment due to hydrothermal activity is not excluded, as was already described in other studies (Nordstrom and Jenne 1977). Gaseous emanations rich in hydrogen fluoride, which is one of the principal volcanic gases, can be a source of F in groundwater.

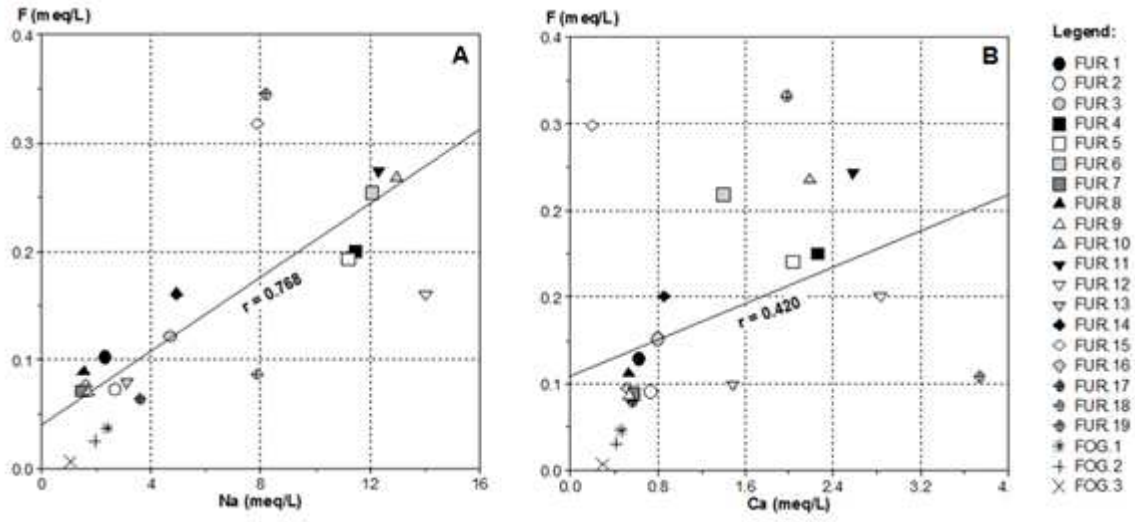


Figure 10 - Na (in meq/l) vs. F (in meq/l) and Ca (in meq/l) vs. F (in meq/l) plot for the average values of the dataset.

5.2. Solute fluxes

In order to estimate solute fluxes associated to the groundwater discharge, the watersheds of major rivers in both studied areas were selected, namely Ribeira Grande (Fogo volcano) and Ribeira Quente rivers (Furnas volcano). The advantage of this approach is that the studied springs are mainly located on these watersheds, thus representing the overall groundwater chemistry, and the river water

chemistry was characterized in a companion paper (Freire et al. 2013), thus allowing to compare to elemental fluxes due to runoff.

As proposed by Rad et al. (2007, 2011) and Schopka and Derry (2012) an approach based on water budgets for both areas is followed. The water budget is expressed by the following expression using annual average values:

$$R = P - (Q + EVR) \pm dV/dt,$$

where R is the recharge, P is the precipitation, Q is the runoff, EVR is the actual evapotranspiration and dV/dt represents the change in reservoir volume per time. Rad et al. (2007) noted the term R as infiltration, and considering the time interval for which values are calculated the term dV/dt can be considered as equal to 0, as over a long time-span an approximated steady-state balance is established (Fitts 2002). The annual averages for P, Q and EVR are from Cruz et al. (2010b) and are similar to values published in the Azores River Basin District Management Plan (AHA-SRAM 2011), being in both cases estimated with the same regionalized model (Azevedo 1996). Runoff estimates includes base and overland flow, and therefore R is equivalent to the submarine groundwater discharge according to the expression proposed by Schopka and Derry (2012).

Water budget data for both watersheds is shown in Table 2. The ratio between R/Q ranges between 0.66 (RRG) and 0.84 (RRQ), being the higher proportion of R comparing to the Q term in the latter a result of topography.

Table 2 - Annual water budget for the studied watersheds (RRG and RRQ are respectively Ribeira Grande and Ribeira Quente). Data for annual average precipitation (P), actual evapotranspiration (EVR) and runoff (Q) is from Cruz et al. (2010b). Recharge (R) is estimated as R = P - (EVR + Q). The area for RRQ includes the Furnas lake watershed as that area also contributes to the overall recharge.

Watershed	Area	P		EVR		Q		R	
	km^2	mm/yr	$10^6 m^3/yr$	mm/yr	$10^6 m^3/yr$	mm/yr	$10^6 m^3/yr$	mm/yr	$10^6 m^3/yr$
RRG	18.3	2028.1	37.2	544.3	10.0	896.2	16.4	587.6	10.8
RRQ	38.6	1769.5	68.2	663.9	25.6	599.1	23.1	506.5	19.6

The fluxes of major-ions to ocean due to groundwater are estimated using the following expression:

$$Fluxgw = R \times (CX)gw,$$

where R is the recharge and (CX)gw corresponds to the concentration of the "X" major-element (Na, K, Mg, Ca, HCO3, SO_4, SiO_2). The latter was estimated from the average values corresponding to mineral and thermal waters sampled during our study. Those samples, as considered by Rad et al. (2007) in their study about the islands of Lesser Antilles (Guadeloupe and Martinique) and Réunion,

can be considered as representative of the variability of groundwater compositions that can be determined in volcanic islands.

In order to compare Fluxgw to fluxes associated to runoff, the latter are estimated using the following expression:

$$Fluxrw = Q \times (CX)rw,$$

where Q is the runoff, and (CX)rw is the concentration of the "X" major-element (Na, K, Mg, Ca, HCO_3, SO_4, SiO_2). The river water data is from Freire et al. (2013) and corresponds to a companion study developed in the same areas. Nevertheless, all river data regarding major-element content was revisited in order to proceed to the correction of the atmospheric contribution, with the exception of SiO_2. As dissolved silica in river water is almost entirely from silicate weathering (Berner and Berner 2012), ($CSiO_2$) was not corrected considering that marine contribution is negligible.

In order to proceed to the referred correction, the following expression proposed by Négrel et al. (1993) was applied:

$$(CX)rwC = (CX)rw - [(CX)sw/(CCl)sw] \times (CCl)rw,$$

where (CX)rwC and (CX)rw are respectively the corrected and the actual concentration of major-element "X" in river water, and (CX)sw and (CCl)sw area respectively the concentration of "X) element and Cl in seawater. For that purpose, rain water and seawater chemistry data is respectively from Cruz et al. (2013) and Cruz (1997).

Results from the elemental fluxes budgets are represented in Fig. 11. In RRG watershed, Na, Mg, K and Ca fluxes in groundwater represent 43%, 60%, 46% and 57% of the total (subsurface plus surface fluxes), while in RRQ values are similar, respectively equal to 43%, 53%, 46% and 49%.

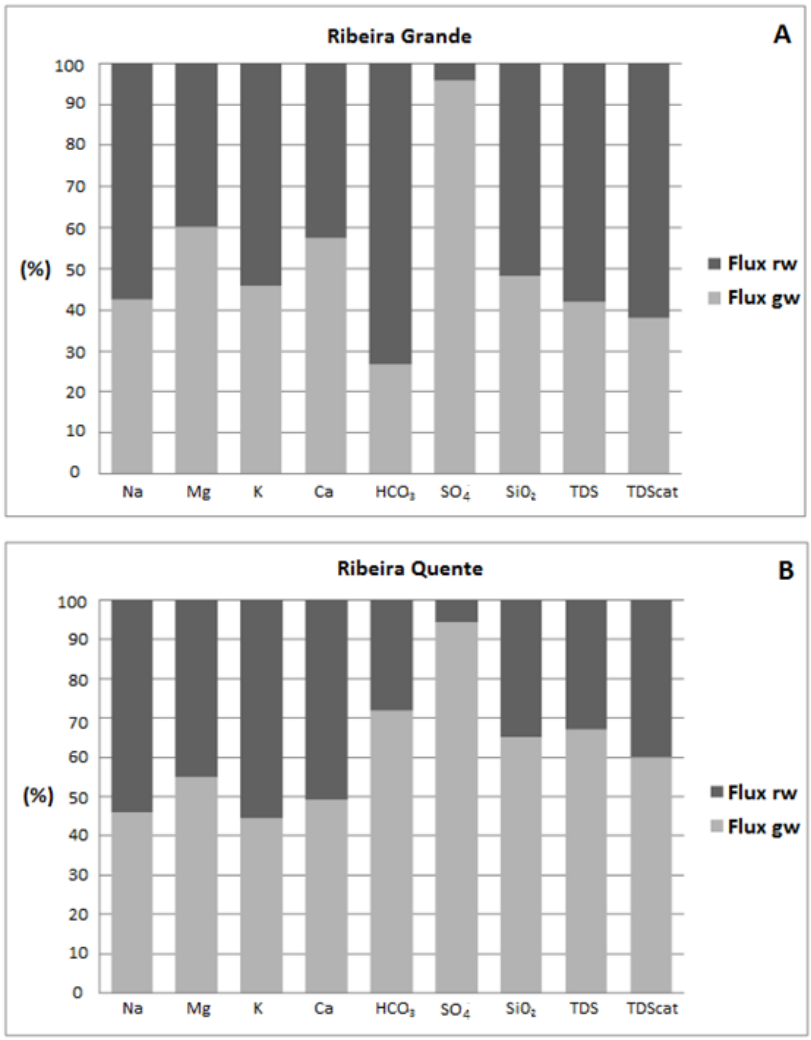


Figure 11 - Proportion between the solute fluxes in river water and groundwater for RRG (A) and RRQ (B) watersheds.

Regarding major anion fluxes in groundwater, HCO_3 and SO_4 represent respectively 26% and 96% of the total in Ribeira Grande, and 70% and 95% in Ribeira Quente. The sharp contrast in the HCO_3 flux reflects in the latter the volcanic degassing in the Furnas area (Viveiros et al. 2010), as well as the lower R/Q ratio, which explains a higher residence time for waters. In what concerns SO_4 flux in groundwater, it results from the SO_4-enrichment in spring waters comparing to river waters, and in both areas several steam-heated thermal discharges are observed (Cruz et al. 2010a). Nevertheless, even in river waters from Ribeira Quente anomalous low values of Cl/SO_4 molal ratio are observed in some locations, resulting from mixture with steam-heated groundwater (Freire et al. 2013).

SiO_2 flux is higher in groundwater, reflecting the higher residence time, and that silicate dilution is favoured by the groundwater temperature. Nevertheless, as both groundwater and surface waters are oversaturated in chalcedony and quartz, Si solubility is limited and therefore SiO_2 fluxes may be underestimated.

Average HCO_3 flux is ten times higher in RRQ (130.1x106 mol/yr) comparing to RRG (13.8x106 mol/yr), which corresponds respectively to 3.4x106 $mol/km^2/yr$ and 0.75x106 $mol/km^2/yr$.

Considering the previous values as an approximation of the CO_2-consumption by groundwater, is possible to show that in the case of RRG this value is similar to the one explained by river water (0.78x106 mol/km2/yr; Freire et al. 2013), pointing out to a total consumption of 1.5x106 mol/km_2/yr. In RRQ, CO_2-consumption by groundwater-derived weathering is 6 times higher comparing to river contribution (0.58x106 mol/km^2/yr; Cruz et al. 2013), suggesting a total consumption of equal to 4x106 mol/km^2/yr, even though much lower than gaseous emanations in Furnas volcano due to volcanic degassing which range in specific areas is between 1.1x109 mol/km^2/yr and 5.6x109 mol/km^2/yr (Viveiros et al. 2010).

5.3. Chemical weathering rates

TDS load ($Na+Mg+k+Ca+SO_4+HCO_3+SiO_2$) flux in groundwater was calculated by multiplying the estimated TDS values by the term R. Results range between 3772 t/yr (RRG) and 15388 t/yr (RRQ), while for the TDScat loads (Na+Mg+K+Ca) range between 919 t/yr (RRG) and 4234 t/yr (RRQ). TDS loads in river water range between 5253 t/yr (RRG) and 7458 t/yr (RRQ), and TDScat between 1499 t/yr (RRG) and 2814 t/yr (RRQ). Nevertheless, when comparing those estimates with TDS loads in river water a contrast is depicted between both watersheds: the ratio between values in groundwater and in surface water is equal to 0.72 (RRG) and 2.04 (RRQ).

Based on the total TDS load, it is possible to estimate chemical weathering rates that for groundwater range between 206 t/km^2/yr (RRG) and 399 t/km^2/yr (RRQ), and for surface water between 287 t/km^2/yr (RRG) and 197 t/km^2/yr (RRQ). Despite being similar in what concerns the total chemical weathering rate (RRG: 493 t/km^2/yr; RRQ: 594 t/km^2/yr), the contribution of the TDS load in groundwater in Ribeira Quente is two times higher comparing to Ribeira Grande. These values reflect the ratio between groundwater and surface water contributions, as well as the higher contribution of groundwater in Furnas volcano (RRQ), the later being also dominated by the numerous mineral and thermal water discharges.

Our estimates are higher than the value proposed by Rad et al. (2007) for the island of São Miguel (130 t/km^2/yr). Rad et al. 82007) have indirectly estimated through a series of simple analogies, for example in what concerns groundwater chemistry and infiltration (R in our study). Our results are slightly higher than the values of the chemical weathering rates in Guadeloupe (430 t/km^2/yr) and Réunion (400 t/km^2/yr), however, are much lower when compared to Martinique (1300 t/km^2/yr) and Java (1360 t/km^2/yr) (Rad et al. 2007). Comparing to estimates made by Rad et al. (2007) to similar systems in Hawaii (130 t/km^2/yr) and Iceland (160 (t/km^2/yr), our values are 3 to 4 times higher.

Chemical weathering rates and fluxes of solutes due to groundwater discharge are also estimated for all the nine islands in the Azores archipelago. For that purpose, we develop a similar approach, using the average precipitation in each island and the recharge rate for 54 aquifer systems mapped in the Azores Water Plan (AWP) (DROTRH-INAG 2001). For the later, in order to estimate an average

recharge rate for each island, we used a weighted average considering the outcrop area of each aquifer system. The average composition of groundwater in each island is also from the AWP, but in the case of the wells, as groundwater in coastal aquifers is frequently mixed with seawater (Cruz et al. 2011), we proceed to the correction of the marine contribution as suggested by Schopka and Derry (2012).

Results from our calculations are presented in Table 3. TDS range between 33 t/km^2/yr (Santa Maria island) and 321 t/km^2/yr (Pico) (Fig. 12). The value for São Miguel is rather similar to the previous estimate from Rad et al. (2007), but lower than the actual values in our studied areas of RRG and RRQ, showing in both latter cases the effect of the hydrothermal influence over groundwater chemistry.

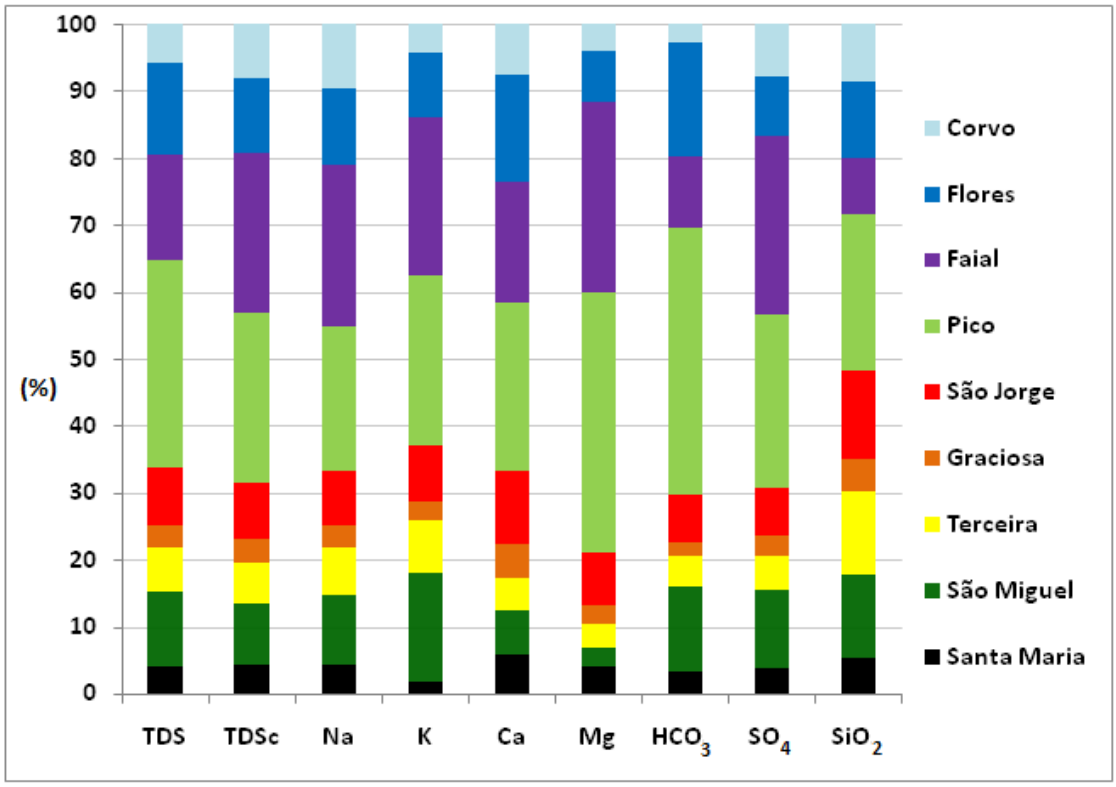


Figure 12 - Distribution of chemical weathering rates for each of the nine islands in the Azores archipelago (t/km^2/yr).

Table 3 - Groundwater chemical data statistics: main variables (temperature. pH. electrical conductivity. dissolved CO2) and major-ion composition (Min. - minimum; Max. - maximum).

Island	Area	P	r	TDS	TDSc	Na	K	Ca	Mg	HCO_3	SO_4	SiO_2
	Km^2	mm	(%)	$t/yr/km^2$		$10^6 mol/yr/km^2$						
Santa Maria	96.9	1200	21.6	42	16	4.2	0.1	0.7	1.0	2.4	0.2	1.6
São Miguel	744.6	1722	29.7	117	34	10.4	1.2	0.8	0.7	9.0	0.7	3.7
Terceira	400.3	1585	30.7	68	23	7.1	0.6	0.6	0.9	3.2	0.3	3.7
Graciosa	60.7	966	25.3	33	13	3.4	0.2	0.6	0.7	1.6	0.2	1.4
São Jorge	243.3	2416	37.2	89	31	7.9	0.6	1.4	2.0	5.1	0.4	3.9
Pico	444.8	2517	51.7	1947	1395	496.2	12.6	13.9	61.2	35.5	30.6	7.0
Faial	173.1	1633	27.8	164	87	23.8	1.8	2.2	7.0	7.7	1.5	2.5
Flores	141	2647	26.1	141	42	11.4	0.7	2.0	1.9	12.1	0.5	3.4
Corvo	17.1	1901	25.5	60	29	9.6	0.3	0.9	1.0	1.9	0.4	2.6
Total	2321.8	16587		2662	1669	574.0	18.3	23.0	76.3	78.3	34.9	29.9

When comparing the chemical weathering rates vs. the age of the island, a inverse relation is suggested (trend "a" in Fig. 13A), from the oldest (Santa Maria) to the youngest island (Pico) in the archipelago, which may be explained by the expected lowering of hydraulic conductivity due to secondary factors that affect volcanic rocks, as weathering itself (Custodio 2007). Other factors are hydrogeological by nature, and for that instance the influence of the recharge rates over the chemical weathering rates can be depicted by the close linear relation between TDS and R (Fig. 13B).

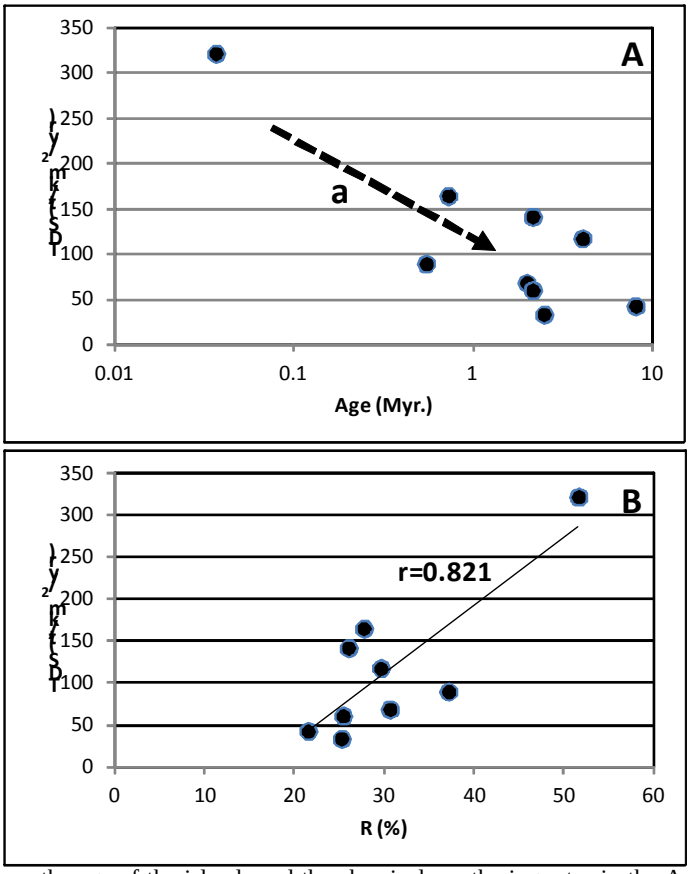


Figure 13 - Relation between the age of the islands and the chemical weathering rates in the Azores archipelago (age data from Pacheco et al. 2013) (A), and R (%) vs. TDS (t/km^2/yr) for the several islands, including the linear regression line (B).

Using the ratio between the TDS load in groundwater and river water in RRG (0.72) as a reference, as this value is less affected by mineral water discharges comparing to RRQ, and therefore more representative of the groundwater composition all over the archipelago, the average riverine TDS and the total TDS (riverine plus groundwater) discharge to the ocean from the Azores archipelago are respectively equal to 160 t/km^2/yr and 265 t/km^2/yr.

The latter value is twice the value of the total weathering rate of São Miguel estimated by Rad et al. (2007; 130 t/km^2/yr) whose applied a surface fraction of 27%. If we apply a 2.04 ratio determined in RRQ to our values, lower than the value proposed by Rad et al. (2007), the average riverine and the total TDS (riverine plus groundwater) discharge to the ocean from the Azores archipelago are then respectively 56 t/km^2/yr and 171 t/km^2/yr.

6. CONCLUSIONS

Through a study made in Ribeira Grande river (RRG) and Ribeira Quente river (RRQ) watersheds, located in the volcanic island of São Miguel (Azores, Portugal), solute fluxes in groundwater were estimated.

Results from the elemental fluxes budgets depicted that Na, Mg, K and Ca fluxes in groundwater represent 43%, 60%, 46% and 57% of the total (subsurface plus surface fluxes) in RRG, and respectively 43%, 53%, 46% and 49% in RRQ. In what concerns anions, HCO_3 and SO_4 represent respectively 26% and 96% of the total in RRG, and 70% and 95% in RRQ. Average HCO_3 flux is ten times higher in RRQ (130.1x106 mol/yr) comparing to RRG (13.8x106 mol/yr), and the HCO_3 flux contrast results from the volcanic degassing in the Furnas area, as well as from the lower ratio between groundwater and river water fluxes. Considering HCO_3 fluxes as an approximation of the CO_2-consumption by groundwater-derived weathering, coupled with values proposed to river waters, is possible to show that in total consumption is 1.5x106 mol/km^2/yr, while in RRQ is 4x106 mol/km^2/yr. Nevertheless, the latter value is lower than gaseous emanations in Furnas volcano due to volcanic degassing.

TDS load range between 3772 t/yr (RRG) and 15388 t/yr (RRQ), and the ratio between values in groundwater and in surface water is respectively equal to 0.72 and 2.04. The associated chemical weathering rates in groundwater range between 206 t/km^2/yr (RRG) and 399 t/km^2/yr (RRQ), that coupled with river water values, gives total chemical weathering rates respectively equal to 493 t/km^2/yr and 594 t/km^2/yr, therefore higher than the average value proposed by Rad et al. (2007) for the island of São Miguel (130 t/km^2/yr).

A similar approach was developed for the entire archipelago, allowing to estimate chemical weathering rates due to groundwater in the range between 33 t/km^2/yr (Santa Maria) and 321 t/km^2/yr (Pico). The value for São Miguel is rather similar to the previous estimate from Rad et al. (2007), but lower than the actual values in our studied areas of RRG and RRQ, showing in both latter cases the effect of the hydrothermal influence over groundwater chemistry. An inverse relation is observed between chemical weathering rates and the age of the islands, although influenced also by other factors from hydrogeological nature, as recharge.

Results gathered in the present study, the first estimates for the Azores archipelago, confirm that significant transport of solutes to the ocean are originated by weathering, and that in volcanic environments this process in enhanced, influencing ocean chemistry. Groundwater in volcanic islands is a major path for the mass transport to the oceans as shown by our data.

ACKNOWLEDGMENTS

Authors are grateful for the very valuable suggestions provided by all the anonymous reviewers and the Editor-in-Chief (Dr. Damia Barceló) that helped to improve very significantly the original manuscript. P. Freire is grateful to Fundo Regional da Ciência e Tecnologia (Secretaria Regional da Ciência, Tecnologia e Equipamentos) for the funding of project M3.1.2/F/017/2008.

REFERENCES

Abdel-Monen A, Fernandez L, Boone G. K/Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands. Lithos 1975;4:247-54.

Acciaiuoli L. Águas minerais do continente e ilha de S.Miguel. Lisboa: Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos;1940. (in Portuguese).

Acciaiuoli L. Le Portugal hydromineral. Vol 1, Lisboa: Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos;1952. (in Portuguese).

Acciaiuoli L. Le Portugal hydromineral. Vol 2, Lisboa: Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos;1953. (in Portuguese).

AHA-SRAM. Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores - RH9. Versão para consulta pública. Ponta Delgada: AHA-SRAM;2011. (in Portuguese).

APHA-AWWA-WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: American Public Health Association, 16th ed;1985.

Appelo CAJ, Postma D., 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam: Balkema;1993.

Azevedo EB. Modelação do clima insular à escala local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira. PhD Thesis, Angra do Heroísmo: University of Azores;1996. (in Portuguese with English abstract).

Bencini A, Martini M, Piccardi G. New investigations on thermal manifestations of S.Miguel (Azores). Arquipélago 1982;3:301-12.

Berner EK, Berner RA. Global environment. Water, air and geochemical cycles. Princeton: Princeton University Press;2012.

Booth B, Croasdale R, Walker G. A quantitative study of five thousand years of volcanism on São Miguel, Azores. Phil Trans R Soc Lond 1978;288:271-319.

Carvalho AH. Estudo analítico de águas termais. Lisboa: Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos;1955. (in Portuguese).

Carvalho MR, Forjaz VH, Almeida C. Chemical composition of deep hydrothermal fluids in the Ribeira Grande geothermal field (São Miguel, Azores). J Volcanol Geotherm Res 2006;156;116-34.

Carvalho MR, Mateus A, Nunes, JC, Carvalho JM. Chemistry of the ferraria thermal water, S.Miguel Island, Azores: mixing and precipitation processes. Environ Earth Sci 2011;64:539-47.

Chiodini G, Cioni R, Frullani A, Guidi M, Marini L, Prati F, Raco B. Fluid geochemistry of Montserrat Island, West Indies. Bull Volcanol 1996;58:380-92.

Cioni R, Fanelli G, Guidi M, Kinyariro JK, Marini L. Lake Bogoria hot springs (Kenya): geochemical features and geothermal implications. J Volcanol Geotherm Res 1992;50:231-46.

Cole PD, Queiroz G, Wallenstein N, Gaspar JL, Duncan AM, Guest JE. An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. J Volcanol Geotherm Res 1995;69:117-35.

Cordeiro S, Coutinho R, Cruz JV. Fluoride content in drinking water supply in São Miguel volcanic island (Azores, Portugal). Sci Total Environ 2012;432:23–36.

Cruz JV. Hidrogeologia da ilha de Santa Maria. MSc thesis, Lisbon: University of Lisbon; 1992. (in Portuguese with English abstract).

Cruz JV. Estudo hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). PhD Thesis, Ponta Delgada: University of Azores; 1997. (in Portuguese with English abstract).

Cruz JV. Groundwater and volcanoes: examples from the Azores archipelago. Environ Geol 2003;44:343-55.

Cruz JV. Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. Ponta Delgada: SRA;2004. (in Portuguese).

Cruz JV, Amaral C. Major ion chemistry of groundwaters from perched-water bodies at Azores (Portugal) volcanic archipelago. App Geochem 2004;19:445-59.

Cruz JV, França Z. Hydrogeochemistry of thermal and mineral springs of the Azores archipelago (Portugal). J Volcanol Geotherm Res 2006;151:382-98.

Cruz JV, Silva MO. Hydrogeologic framework of the Pico island (Azores, Portugal). Hydrogeol J 2001;9:177-89.

Cruz JV, Coutinho RM, Carvalho MR, Oskarsson N, Gislason SR. Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. J Volcanol Geotherm Res 1999;92:151-67.

Cruz JV, Freire P, Costa A. Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). J Volcanol Geotherm Res 2010a;190:353-64.

Cruz JV, Pacheco D, Coutinho R, Cymbron R, Mendes S, Antunes P, Fontiela J, Freire P. Chemical monitoring of river water bodies in an EU outermost region: examples from the Azores archipelago (Portugal). J Environ Monit 2010b;12:2216–25.

Cruz JV, Fontiela J, Cabral L, Coutinho R. Plano de Gestão de Recursos Hídricos de Ilha – São Miguel. Relatório de Caracterização e Diagnóstico. Relatório DCT128/CVARG/11, Ponta Delgada: Universidade dos Açores; 2011. (in Portuguese).

Cruz JV, Silva, MO, Dias, MI, Prudêncio MI. Groundwater composition and pollution due to agricultural practices at Sete Cidades volcano (Azores, Portugal). App Geochem 2013;29:162-73.

Custodio E. Groundwater in volcanic hard rocks. In: Krásný J, Sharp J, editors. Groundwater in fractured rocks. London: Taylor & Francis;2007. p. 95-108.

D'Alessandro W, Brusca L, Kyriakopoulos K, Michas G, Papadakis G. Methana, the westernmost active volcanic system of the south Aegean arc (Greece):insight from fluids geochemistry. J Volcanol Geotherm Res 2008;178:818-28.

Dotsika E, Poutoukis D, Michelot JL, Raco B. Natural tracers for identifying the origin of the thermal fluids emerging along the Aegean Volcanic arc (Greece): evidence of Arc-Type Magmatic Water (ATMW) participation. J Volcanol Geotherm Res 2009;179:19-32.

DROTRH-INAG. Plano Regional da Água. Relatório técnico. Ponta Delgada: DROTRH-INAG;2001. (in Portuguese).

Edmunds M, Smedley P. Fluoride in natural waters. In: Selinus O, Alloway B, Centeno J, Finkelman R, Fuge R, Lindh U, Smedley P, editors. Esssential of medical geology. Impacts of the natural environment on public health. Amsterdam: Elsevier;2004. p. 301-329.

Ellis AS, Mahon WAS. Chemistry and geothermal systems. New York: Academic Press;1977.

Evans WC, Sorey ML, Cook AC, Kennedy BM, Shuster DL, Colvard EM, White LD, Huebner MA. Tracing and quantifying magmatic carbon discharge in cold groundwaters: lessons learned from Mammoth Mountain, USA. J Volcanol Geotherm Res 2002;114:291-312.

Evans W, Bergfeld D, van Soest M, Huebner M, Fitzpatrick J, Revesz K. Geochemistry of low-temperature springs northwest of Yellowstone caldera: Seeking the link between seismicity, deformation, and fluid flow. J Volcanol Geotherm Res 2006;154:169-80.

Fitts C. Groundwater science. Amsterdam: Academic Press;2002.

Freire P, Andrade C, Coutinho R, Cruz JV. Fluvial geochemistry in São Miguel island (Azores, Portugal): source and fluxes of inorganic solutes in an active volcanic environment. Sci Total Environ 2013;454–455:154–69.

Frisbee MD, Phillips FM, White AF, Cambell AR, Liu F. Effect of source integration on the geochemical fluxes from springs. App Geochem 2013;28:32-54.

Garrels R, MacKenzie F. Origin of the chemical compositions of some springs and lakes. In: Stumm W, editor. Equilibrium concepts in natural water systems. Advances in Chemistry Series 67, Washington: Am Chem Soc; 1967. p. 222-242.

Goff F, McMurtry GM, Counce D, Simac JA, Roldán-Manzo AR, Hilton DR. Contrasting hydrothermal activity at Sierra Negra and Alcedo volcanoes, Galapagos Archipelago, Ecuador. Bull Volcanol 2000;62:34-52.

Grassa F, Capasso G, Favara R, Inguaggiato S. Chemical and isotopic composition of waters and dissolved gases in some thermal springs of Sicily and adjacent volcanic islands, Italy. Pure App Geophys 2006;163:781-807.

Guest JE, Gaspar JL, Cole PD, Queiroz G, Duncan AM, Wallenstein N, Ferreira T, Pacheco JM. Volcanic geology of Furnas volcano, São Miguel, Azores. J Volcanol Geotherm Res 1999;92:1-29.

Kresic N. Types and classifications of springs. In: Kresic N, Stepanovic Z, editors. Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability. Burlington: Butterworth-Heinemann;2010. p. 30-85.

Krásný J. Classification of transmissivity magnitude and variation. Ground Water 1993;31:230-6.

Lamb MP, Howard AD, Johnson J, Whipple KX, Dietrich WE, Petron JT. Can springs cut canyons into rock? J Geophy Res 2006;111, E07002:doi:10.1029/2005JE002663.

LaFleur RG. Geomorphic aspects of groundwater flow. Hydrogeol J 1999;7:78-93.

LaMoreaux PE. Historical development. In: LaMoreaux PE, Tanner JT, editors. Springs and bottled waters of the world: ancient hystory, source, occurrence, quality and use. Berlin: Springer;2001. p. 16-32.

Lewicki J, Fischer T, Williams S. Chemical and isotopic compositions of fluids at Cumbal Volcano, Colombia: evidence for magmatic contribution. Bull Volcanol 2000;62:347-61.

Louvat P, Allègre CJ. Riverine erosion rates on Sao Miguel volcanic island. Chem Geol 1998;148:177–200.

Martínez D, Londoño O, Massone H, Buitrago P, Lima L. Hydrogeochemistry of fluoride in the Quequen river basin: natural pollutants distribution in the argentine pampa. Environ Earth Sci 2012;65:411–20.

Meinzer O. Large springs in the United States. Water-Supply Paper 557, Washington: US Geological Survey;1927.

Minissale A, Mattash M, Vaselli O, Tassi F, Al-Ganad I, Selmo E, Shawki N, Tedesco D, Poreda R, Ad-Dukhain A, Hazzae M. Thermal springs, fumaroles and gas vents of continental Yemen: Their relation with active tectonics, regional hydrology and the country's geothermal potential. App Geochem 2007;22:799-820.

Moore RB. Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. Bull Volcanol 1990;52:602-14.

Moore RB. Geologic map of São Miguel, Azores (Scale 1:50.000). US Geological Survey, MISC INV., map I-2007, Washington: US Geol Survey; 1991a.

Moore RB. Geology of three late Quaternary stratovolcanoes on São Miguel, Azores. Washington: US Geological Survey Bulletin 1900;1991b.

Morell I, Pulido Bosch A, Daniele L, Cruz JV. Chemical and isotopic assessment in volcanic thermal waters : cases of Ischia (Italy) and São Miguel (Azores, Portugal). Hydrol Process 2008;22:4386-99.

Muecke GK, Ade-Hall JM, Aumento F, MacDonald A, Reynolds PH, Hyndman RD, Quintino J, Opdyke N, Lowrie W. Deep drilling in an active geothermal area in the Azores. Nature 1974;252:281-85.

Négrel P, Allègre CJ, Dupré B, Lewin E. Erosion sources determined by inversion of major and trace element ratios and strontium isotopic ratios in river water: the Congo Basin case. Earth Planet Sci Lett 1993;120:59-76.

Nordstrom DK, Jenne AJ. Fluorite solubility equilibria in selected geothermal waters. Geochim Cosmochim Acta 1977;4:175–88.

Nordstrom DK, McCleskey RB, Ball JW. Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-sulfate waters. App Geochem 2009;24:191-207.

Pacheco J. 1995. Caracterização do depósito vulcânico Furnas-C e seu contributo para a análise do hazard associado à actividade do vulcão das Furnas. MSc Thesis, Ponta Delgada: University of the Azores; 1995. (in Portuguese with English abstract).

Pacheco F, Van der Weidjen C. Mineral weathering rates calculated from spring water data: a case study in an area with intensive agriculture, the Morais Massif, northeast Portugal. App Geochem 2002;17:583-603.

Pacheco J M, Ferreira T, Queiroz G, Wallenstein N, Coutinho R, Cruz JV, Pimentel A, Silva R, Gaspar JL, Goulart C. Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores. In: Dias R, Araújo A, Terrinha P, Kullberg JC, editors. Geologia de Portugal. Lisboa: Escolar Editora;2013. p. 595-690. (in Portuguese).

Paradela PL. Hidrogeologia geral das ilhas adjacentes. Comun Serv Geol Portugal 1980;66:241-56. (in Portuguese).

Parkhurst DL, Appelo CAJ. User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations Water-Resources Investigation Report 99-4259, Denver: USGS; 1999.

Peterson FL. Water development on tropic volcanic islands type example:Hawaii. Ground Water 1972;10:18-23.

Pitts MW, Alfaro C., 2001. Geologic/hydrogeologic setting and classification of springs. In: LaMoreaux PE, Tanner JT, editors. Springs and bottled waters of the world: ancient hystory, source, occurrence, quality and use. Berlin: Springer;2001. p. 34-71.

Queiroz G, Gaspar JL, Cole PD, Guest JE, Wallenstein N, Duncan AM, Pacheco JM. Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S.Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. Açoreana 1995;8:159-65. (in Portuguese).

Rad S, Allègre CJ, Louvat P. Hidden erosion on volcanic islands. Earth Planet. Sci Lett 2007;262:109-24.

Rad S, Rivé K, Allègre CJ. Weathering regime associated with subsurface circulation on volcanic islands. Aquat Geochem 2011;17:221-41.

Rademacher JK, Clark JF, Clow DW, Hudson GB. Old groundwater influence on stream hydrogeochemistry and catchment response times in a small Sierra Nevada catchment: Sagehen Creek, California. Water Resour Res 2005; 41 W02004:doi.org/10.1029/2003WR002805.

Schopka HH, Derry L. Chemical weathering fluxes from volcanic islands and the importance of groundwater: the Hawaiian example. Earth Planet Sci Lett 2012; 339-340:67-78.

Shevenell L, Goff F. Addition of magmatic volatiles into the hot spring waters of Loowit Canyon, Mount St. Helens, Washington, USA. Bull Volcanol 1993;35:489-503.

Springer A, Stevens LE. Spheres of discharge of springs. Hydrogeol J 2009;17:83-93.

Springer A, Stevens LE, Anderson DE, Parnell RA, Kreamer DK, Levin L, Flora S. A comprehensive springs classification system: integrating geomorphic, hydrogeochemical and ecological criteria. In: Stevens LE, Meretsky, editors. Arid land springs in North America: ecology and conservation. Tucson: University of Arizona Press;2008.

Strandmann K, Burton W, James RH, Calsteren P, Gislason SR. Assessing the role of climate on uranium and lithium isotope behaviour in rivers draining a basaltic terrain. Chem Geol 2010;270:227-39.

Tassi F, Vaselli O, Capaccioni B, Macias JL, Nencetti A, Montegrossi G, Magro G. Chemical composition of fumarolic gases and spring discharges from El Chichòn volcano, Mexico: causes and implications of the changes detected over the period 1998-2000. J Volcanol Geotherm Res 2003;123:105-21.

Tóth J. Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes and manifestations. Hydrogeol J 1999;7:1-14.

Valentino GM, Stanzione D. Source processes of the thermal waters from the Phlegraean Fields (Naples, Italy) by means of the study of selected minor and trace elements distribution. Chem Geol 2003;194:245-274.

Varekamp JC, Ouinette A, Herman S, Bermudez A, Delpino D. Hydrothermal elemental fluxes during the 2000 eruptions of Copahue, Argentina. A "beehive volcano in turmoil". Geology 2001;29:1059-62.

Varekamp JC, Ouimette AP, Herman SW, Flynn KS, Bermudez A, Delpino D. Naturally acid waters from Copahue volcano, Argentina. App Geochem 2009;24:208-20.

Viveiros F, Cardellini C, Ferreira T, Caliro S, Chiodini G, Silva C. Soil CO_2 emissions at Furnas volcano, São Miguel Island, Azores archipelago: Volcano monitoring perspectives, geomorphologic studies, and land use planning application. J Geophy Res 2010;115 B12208:doi:10.1029/2010JB007555.

Van der Weijden C, Pacheco F. Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island. J Hydrol 2003;283:122–45.

Wallenstein N. Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S.Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. PhD Thesis, Ponta Delgada: University of Azores;1999. (in Portuguese with English abstract).

White WB. Springwater geochemistry. In: Kresic N, Stepanovic Z, editors. Groundwater hydrology of springs: engineering, theory, management and sustainability. Burlington: Butterworth-Heinemann;2010. p. 232-268.

Zanon V, Kueppers U, Pacheco JM, Cruz I. Volcanism from fissure zones and the Caldeira central volcano of Faial Island, Azores archipelago: geochemical processes in multiple feeding systems. Geol Mag 2013;150:536-555.

8 | IMPORTÂNCIA SOCIOECONÓMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES

8.1 | ALGUNS DADOS HISTÓRICOS

Perde-se no tempo a mais antiga utilização de águas minerais e termais, banhos e abluções. As civilizações mais antigas, da Mesopotâmia ao Egipto, conheciam o poder curativo das águas minerais no tratamento de doenças, nomeadamente de pele, e embora na Grécia antiga as nascentes termais fossem exploradas e vistas como uma dádiva do Deus do Fogo e do Metal (Hefesto), foram sem dúvida os Romanos que acumulando conhecimento sobre acções e tipos de água massificaram os banhos públicos, edificando termas em todo o império, nomeadamente na Alemanha (Baden-Baden), em França (Vichy), no Reino Unido (Bath), na Hungria (Aquincum) e Península Ibérica.

Em Portugal, na então Lusitânia, os Romanos construíram termas que resistiram ao tempo e se encontram em bom estado de conservação, e até de utilização. São conhecidas as Termas Romanas Maximinos, em Braga (Bracara Augusta), as Termas Romanas dos Cássios-Olissipo, em Lisboa, as Termas da Muralha - Conímbriga, em Coimbra, as Termas Romanas em Évora, mas as mais importantes em Portugal, ainda hoje exploradas, são as de São Pedro do Sul (Aquae Sulis) e as de Chaves (Aquae Flaviae) ambas alimentadas por águas minerais de temperatura entre os 60ºC a 73ºC.

As Termas Romanas de São Pedro do Sul, subjacentes ao actual Centro Termal, eram dedicadas a Sulis, deusa da cura relacionada com fontes de água quente. O Complexo Termal Romano era constituído por 4 edifícios (Tepidarium, Caldarium, Sudatorium e Laconicum (estufa Seca), num conjunto de cinco piscinas. Este complexo termal é também conhecido por piscina de Dom Afonso Henriques que pertencia às antigas Caldas de Lafões.

As Termas Romanas de Chaves, recentemente descobertas (2008), estão deslocalizadas relativamente ao actual Centro Termal (buvete e balneário) e situam-se no centro da cidade, muito perto da Ponte Romana de Trajano (Século I D. C); é um Complexo constituído por piscinas de diferentes dimensões servidas por um sistema de condutas que canaliza a água termal que brota ali mesmo (Figura 8.1). O município Flaviense, com base numa visão estratégica para a potenciação das termas, transformou este complexo em “Museu das Termas Romanas”, ainda inacabado, mas que se pretende interactivo, associando os edifícios e vestígios arqueológicos à sua reutilização controlada para banhos públicos.

Figura 8.1 | Termas Romanas de Chaves.

Em Portugal, a medicina termal tem uma grande tradição, pois o primeiro hospital termal do mundo foi fundado nas Caldas da Rainha, em 1499, por D. Leonor, Rainha de Portugal, mulher de D. João II (Cantista, 2009). Contudo o termalismo como ciência da utilização das águas minerais só teve um desenvolvimento significativo a partir do século XIX; para tal contribuiu o conhecimento científico da composição físico-química das águas, associado ao estudo e à investigação das acções terapêuticas das mesmas, área de que se ocupa a hidrologia médica.

8.2 | UTILIZAÇÃO TERMAL, RECREATIVA E TURÍSTICA

Ao termalismo clássico terapêutico característico da primeira metade do século XX, praticamente associado ao uso médico das águas minerais nos seus aspectos curativo ou paliativo, sucedeu na década de noventa do século XX, o turismo termal ou turismo de saúde e bem-estar.

O turismo termal centra-se nas estâncias termais existentes, mas tem um âmbito muito mais alargado, pois associa o termalismo terapêutico ao termalismo

lúdico e de bem-estar, procurando a convivência das duas vertentes dentro do mesmo espaço balnear. Na década de oitenta do século passado as termas portuguesas, que tinham sofrido grandes melhoramentos e ampliações, em termos de edifícios e equipamentos ligados ao progresso tecnológico, foram sendo remodeladas em espaços complexos e plurifacetados, com utentes de diferentes grupos sociais e etários, que tem diferentes expectativas, motivações e objectivos de vida" (Ramos, 2003). Ao conceito de turismo termal estão ligadas medidas e acções que englobam (Mangorinha, 2009):

a) modernizar/edificar unidades hoteleiras;
b) instalar centros de recuperação física e de estágio desportivo para o desenvolvimento de actividades de recreio e de lazer;
c) garantir as melhores infra-estruturas complementares da actividade termal e imprescindíveis às actividades turísticas (acessos rodoviários, saneamento básico, rede eléctrica e comunicações móveis);
d) construir/reabilitar o espaço público para a relação ente os peões, ciclistas e automóveis;
e) garantir a existência de espaços verdes, como espaços arbóreos e relvados, dado a sua influência na qualidade do ar do espaço termal, na protecção aos aquíferos de água mineral e na integração das actividades termais de recreio e lazer.

Completam estas medidas a oferta cultural diversificada (museus, feiras, espectáculos, caminhadas).

Associada frequentemente ao termalismo de saúde e bem-estar, temos o conceito de peloterapia - aplicação por via tópica (geral ou local) de pelóides (argilas, lamas, fangos e lodos) com fins terapêuticos, em afecções dermatológicas (psoríase, acne, seborreia) e músculo-esquelético (reumatismo, artrologia, processos pós-traumáticos e entorses). Os pelóides, segundo a International Society of Medical Hydrology (I.S.M.H.) são produtos naturais que consistem na mistura de água mineral com matérias inorgânicas (ex: argilas e lamas) e orgânicas (algas, bactérias e outros resíduos orgânicos).

A aplicação externa de argila/lama/fango/lodo ou limo sob a forma de cataplasma e de banhos de lama remonta ao Egipto e Grécia Antiga. A Rainha Cleópatra (século I A.C.) usou limo do mar morto em máscaras faciais (cosmética). Na Grécia Antiga eram conhecidas argilas resultantes da alteração das rochas vulcânicas, existentes nas ilhas de Lemnos, Chios, Samos, Milos e Kimolos, das quais a mais

famosa era a ilha de Lemnos, conhecida por “terra siggilata” (terra selada), pelo facto dos discos de argila branca adstringente e adsorvente serem, depois de preparados, selados com o selo de cabra, marca da deusa Artemísia (Diana para os Romanos). As “terras”, eram utilizadas, sob a forma de emplastros na cura de doenças de pele. Famosa era também a argila vermelha da Capadócia (Turquia) (Gomes & Silva, 2009).

8.3 | UTILIZAÇÃO INDUSTRIAL

8.3.1 | ENGARRAFAMENTO DE ÁGUA MINERAL

O engarrafamento de água mineral é uma indústria antiga e sempre representou uma fonte considerável de receita, muito maior que a da utilização termal estrita da mesma. O mercado total (nacional mais exportação) das águas engarrafadas compreende águas minerais e águas de nascente, com predomínio das primeiras em cerca de dois terços do total. A venda de águas engarrafadas tem vindo a crescer desde 1998 a 2008, o que representa um grande potencial económico, dado que esta actividade sempre foi lucrativa (Jáuregui Arbizu *et al.,* 2009).

Para a expansão da indústria do engarrafamento de água mineral muito contribuiu a descoberta de polímeros com destaque para o PET. (teraftalato de polietileno), o material mais usado nas vasilhas de engarrafamento. O PET. tal como o vidro (primeiro material a ser usado nas garrafas) pode ser reciclado o que constitui uma mais-valia em termos ecológicos e de poupança energética. O regulamento europeu nº 282/2008 possibilitou o emprego generalizado do PET reciclado na embalagem de qualquer alimento, incluindo a água, uniformizando procedimentos em toda a União Europeia. Além do PET. (virgem ou reciclado) são usados em menor escala, o PVC. (cloreto de polivinilo) e o HDPE (polietileno de alta densidade) (Jáuregui Arbizu *et al.,* 2009).

8.3.2 | INDÚSTRIA DERMOCOSMÉTICA

As águas minerais podem ser submetidas a um processo de transformação que inclui a possibilidade de extracção de sais minerais, e particularmente de oligoelementos, como por exemplo o lítio e o boro, do qual resulta uma linha de produtos dermocosméticos (loções corporais, cremes faciais e corporais, sabonetes). Em Portugal, as termas de São Pedro do Sul foram as primeiras a lançar no mercado uma linha de produtos dermocosméticos, seguindo os exemplos de sucesso das marcas como a Vichy e La Roche-Posay (Lapa, 2009).

8.3.3 | UTILIZAÇÃO GEOTÉRMICA

A utilização geotérmica de águas termais está relacionada com a respectiva temperatura e entalpia.

Os Romanos fizeram o primeiro aproveitamento geotérmico das águas termais, quando construíram termas, à volta das quais floresceram cidades como Chaves e São Pedro do Sul, em Portugal continental, onde as águas eram utilizadas não só em banhos, como no abastecimento e aquecimento de casas nas zonas onde circulavam os fluídos. Actualmente a utilização em cascata das águas termais no aquecimento de piscinas, hotéis, estufas para a produção agrícola e na piscicultura faz parte de projectos só parcialmente concretizados (ex: aquecimento da piscina municipal de Chaves e balneário em 1986), porque a sua viabilização tem encontrado obstáculos na possibilidade de prejudicar a indústria do turismo e termalismo.

As águas termais de alta entalpia podem ser utilizadas na produção lucrativa de energia eléctrica a partir do vapor de água de origem geotérmica, como acontece na central geotérmica do Fogo, na ilha de São Miguel (Açores) (Cabeças *et al.*, 2010) e (Carvalho & Carvalho, 2004).

8.4 | PERSPECTIVA E UTLIZAÇÕES DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES

8.4.1 | INTRODUÇÃO: NOTAS HISTÓRICAS

A origem vulcânica do arquipélago dos Açores explica a ocorrência de numerosas e diversas nascentes de águas minerais, predominantemente gasocarbónicas, e termais dispersas pelas ilhas de São Miguel, Graciosa, Terceira, Faial, São Jorge, Pico e Flores. A ilha de São Miguel é a mais rica nestas águas (73,2%) particularmente a sua zona Oriental, onde existe uma das maiores Hidrópoles da Europa, o Vale das Furnas.

As primeiras referências a estes recursos, e respectiva utilização terapêutica, surgem em 1581 na obra “Saudades da Terra” de Gaspar Frutuoso constituída por seis volumes; entre estas salientam-se as relativas às nascentes da Ferraria e dos Mosteiros (vol. II) e às Caldeiras da Ribeira Grande (vol. III) (Freire *et al.*, 2009).

Outra das mais antigas referências bibliográficas às águas minerais dos Açores encontra-se num documento intitulado “Relaçam do Lastimoso e Horrendo Caso que Aconteceo na ilha de S. Migvel em segunda-feira dous de Setembro de 1630”, da autoria de Franco (1630). Este relato descreve a erupção vulcânica do Vale das Furnas, em 02/09/1630, podendo ler-se antes da descrição do evento vulcânico uma

referência à ribeira dos Tambores, em cujas águas quentes, temperadas e medicinais os enfermos tomavam banho.

Deve-se a Guilherme Gourlay, médico na ilha da Madeira, a obra “Relação das Águas Mineraes da Ilha Portugueza de S. Miguel”, datada de 1791, que apresenta uma classificação das “nascentes” da lagoa e caldeiras das Furnas, baseada na observação das mesmas, em quatro grupos (frias, moderadas, ferventes e fumantes) (Cruz & Freire, 2011).

Gourlay faz algumas análises químicas incipientes mas, sobretudo como médico, deu indicações terapêuticas para as águas, distinguindo as frias, que bebidas são “laxantes” e “diuréticas”, das quentes usadas em banhos quentes e de vapor. Esta obra foi traduzida por Francisco Tavares que a refere no seu livro “Instrucções e Cautelas Practicas” (parte I), editado em Coimbra pela Real Imprensa da Universidade (1810).

Em 1825 a pedido do desembargador Dr. Vicente José Ferreira C. Costa é enviado a São Miguel, em missão do Governo Português, Mouzinho de Albuquerque, Provedor da Casa da Moeda e eminente professor de química da Universidade de Lisboa. Uma das finalidades desta missão era determinar o valor químico das águas minerais e termais das Furnas para que pudessem ter uma maior aplicação terapêutica (Albuquerque & Menezes, 1826).

No final da missão foi elaborado um relatório, com o título “Observações Sobre a Ilha de S. Miguel, Recolhidas pela Commissão Enviada a Mesma Ilha em Agosto de 1825 e Regressada em Outubro do Mesmo Anno”, de Luiz Silva Mouzinho de Albuquerque e seu ajudante Ignacio Pitta de Castro Menezes, de elevada importância no avanço do conhecimento científico das águas minerais dos Açores, particularmente da ilha de São Miguel, pois foram efectuadas e publicadas pela primeira vez análises químicas quantitativas das seguintes águas minerais: Água Azeda, Caldeira Grande e Sanguinhal (Albuquerque & Menezes, 1826).

No relatório supracitado também é importante salientar que Mouzinho de Albuquerque e Ignacio Pitta elaboraram, igualmente, também duas plantas, respectivamente do “Valle das Furnas” e das “Caldeiras do Valle das Furnas”, e anexaram a “Carta Militar e Topo-Hydrographica da ilha de São Miguel, levantada em 1822, e desenhada em 1824“, da autoria do Tenente-Coronel Eng. José Carlos Figueiredo (Albuquerque & Menezes, 1826).

Figura 8.2 | Estampa "Caldeiras das Furnas "(retirado de Bullar, J. & Bullar, H. 1841).

Na segunda metade do século XIX as águas minerais do Vale das Furnas, cada vez mais conhecidas, suscitaram o interesse do poder político, não só em relação ao benefício económico que a sua valorização poderia trazer para a ilha, mas também devido aos efeitos terapêuticos que poderiam produzir nos doentes. Nesse sentido, em 1872, a Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada chamou à ilha Ferdinard Fouqué, tendo-o encarregado de fazer análises químicas as águas minerais de São Miguel, com particular incidência no Vale das Furnas (Figura 8.2).

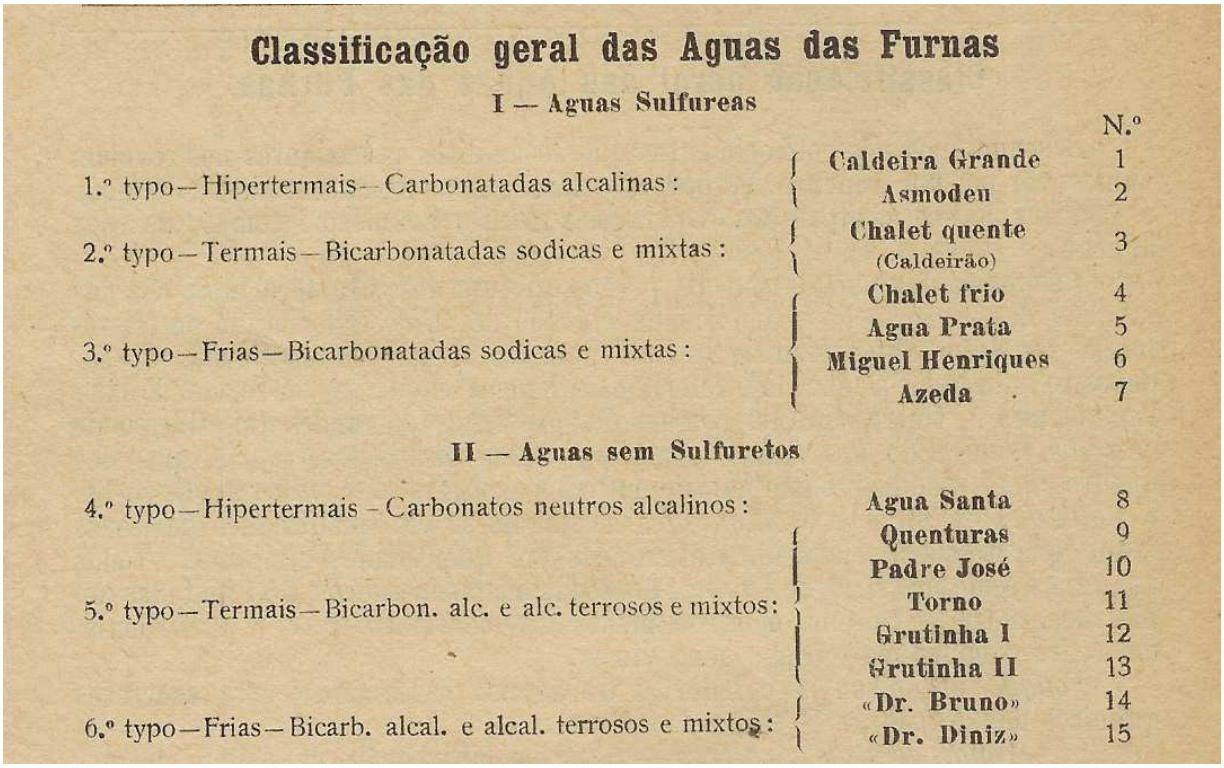
No relatório final elaborado por Fouqué está patenteado um rigoroso trabalho científico, atendendo à época, sobre a localização, temperatura, ensaios químicos preliminares e composição química quantitativa, expressa em mg/L. O documento referido anteriormente foi apenso aos relatórios do Dr. Philomeno da Camara Mello Cabral, o distinto médico da Universidade de Coimbra e director do hospital e clínica do Vale das Furnas, durante os anos de 1870 a 1872, originando a obra “Les Eaux Thermales de L’Île de San-Michel (Açores), Portugal” (Fouqué & Cabral, 1873).

Fora da ilha de São Miguel as primeiras referências bibliográficas relativas a águas minerais pertencem às águas do Carapacho, descobertas em 1750. A obra “ilha

Graciosa - Descripção Histórica e Topographica" (Moniz, 1883) dá conta dos efeitos terapêuticos destas águas minerais no tratamento de afecções reumáticas, cutâneas e nervosas e inclui uma análise química promovida por José João de Simas e Cunha, feita em 8 de Junho de 1878 por Cvan Banhort, assistente Chimica no laboratório do Instituto Industrial e Comercial de Lisboa.

Quatro décadas depois da visita de Fouqué, em Maio de 1912, novamente a Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada encarregou Charles Lepierre, professor do Instituto Técnico de Lisboa de proceder a novas análises físico-químicas das águas minerais do Vale das Furnas. Inicialmente Charles Lepierre examinou quatro águas: a Caldeira Grande, as duas que alimentavam os banhos do Chalet e a das Quenturas. Por iniciativa própria procedeu à análise desenvolvida de mais sete águas: Azeda, Água Santa, Asmodeu, Grutinha I, Padre José, Dr. Bruno e Dr. Diniz. Mais tarde fez ainda um estudo sumário a outras quatro nascentes: Água de Prata, Água Miguel Henriques, Torno e Grutinha II. Das quinze águas anteriormente citadas seis já tinham sido examinadas por Fouqué.

Baseado na riqueza do conhecimento revelado pelas análises efectuadas, Charles Lepierre classificou as águas das Furnas para facilitar a sua comparação, e consequentemente a determinação das suas aplicações. Nesta classificação Charles Lepierre mencionou as quatro categorias de Fouqué, baseadas nos caracteres químicos das águas de São Miguel, mas seguiu outra metodologia que julgou mais adequada para dar uma melhor ideia da riqueza e variedade das águas das Furnas, e que, consequentemente contribuísse para uma aplicação mais célere das diversas águas, por parte dos médicos (Figura 8.3).



Classificação geral das Aguas das Furnas

I — Aguas Sulfureas

		N.º
1.º typo — Hipertermais — Carbonatadas alcalinas:	Caldeira Grande	1
	Asmodeu	2
2.º typo — Termais — Bicarbonatadas sodicas e mixtas:	Chalet quente (Caldeirão)	3
3.º typo — Frias — Bicarbonatadas sodicas e mixtas:	Chalet frio	4
	Agua Prata	5
	Miguel Henriques	6
	Azeda	7

II — Aguas sem Sulfuretos

4.º typo — Hipertermais — Carbonatos neutros alcalinos:	Agua Santa	8
5.º typo — Termais — Bicarbon. alc. e alc. terrosos e mixtos:	Quenturas	9
	Padre José	10
	Torno	11
	Grutinha I	12
	Grutinha II	13
6.º typo — Frias — Bicarb. alcal. e alcal. terrosos e mixtos:	«Dr. Bruno»	14
	«Dr. Diniz»	15

Figura 8.3 | Classificação geral das águas das Furnas segundo Charles Lepierre, (Lepierre, 1917).

No final da sua missão, Charles Lepierre elaborou um exaustivo relatório do seu trabalho, que originou uma das mais determinantes obras sobre o tema “Aguas Minero-Medicinais do Vale das Furnas, ilha de S. Miguel (Açores)” (Lepierre, 1917).

Nas décadas de 40 e 50 do século XX dois grandes vultos da Ciência portuguesa, Luiz de Menezes C. Acciaiuoli e Herculano Carvalho contribuem com a sua vasta obra para um importante progresso do conhecimento das águas minerais de Portugal continental e insular.

Em 1940, ano das Comemorações Centenárias da Independência e Restauração de Portugal é publicado “Águas Minerais do Continente e Ilha de S. Miguel” de Luiz Acciaiuoli. Esta obra contém três importantes relatórios de visitas à ilha de São Miguel.

O primeiro relatório, elaborado em 1934 pelo engenheiro Pedro Joyce Diniz, Adjunto da Inspecção de Águas dá conta do “reconhecimento das nascentes de águas minerais Lombadas, Serra do Trigo e Água de Alcântara e da demarcação das áreas reservadas destas três nascentes, em regime de concessão Provisória”.

O segundo relatório, da autoria do engenheiro Luiz Castro Solla, Director Geral de Minas e Serviços Geológicos refere-se à visita à ilha de S. Miguel, em 1937, “ a - fim - de serem estudadas, *in loco*, as condições de valorização das nascentes de águas minero-medicinais, que servirão de base para a elaboração do programa de

concurso para adjudicação da exploração das nascentes das águas minerais das Furnas"; este relatório é de grande importância para o conhecimento da utilização das águas de São Miguel, quer em balneoterapia (há descrição de todos os balneários particulares e públicos da região das Furnas, da Ribeira Grande e da Ferraria), quer na indústria de engarrafamento de águas de mesa ("Serra do Trigo, "Alcântara", "Ladeira Velha" e "Lombadas").

O terceiro relatório da autoria de Luiz Acciaiuoli, Engenheiro Chefe da Inspecção de Águas e Armando Narciso, Médico Hidrologista da mesma Inspecção, refere-se à visita, em 1938, às nascentes de águas minero-medicinais da ilha de São Miguel (Açores) e esteve na base do "Inventário das águas medicinais da ilha de S. Miguel", 1941, dos mesmos autores.

Nas décadas de cinquenta e sessenta do século XX, Herculano Carvalho impõe-se como autoridade nas análises das águas minerais do País. A sua obra fundamental sobre São Miguel, intitulada "Estudos Analíticos das Águas Termais da ilha de São Miguel" (1955), referencia obrigatoriamente Fouqué e sobretudo Lepierre de quem foi discípulo e substituiu no cargo de director do laboratório de química analítica do Instituto Superior Técnico.

Herculano Carvalho apresenta em Dezembro de 1953 uma análise completa de dezasseis águas minerais das Furnas: Caldeira Grande, Caldeira do Asmodeu, Caldeira do Esguicho, Água Santa, Chalet Frio, Água Azeda, Miguel Henriques", Água de Prata, Caldeirão ou Chalet Quente, Padre José, Quenturas, Grutinha I, Grutinha II, Torno, Morangueira e Dr. Bruno. Com base nos resultados destas análises apresentou uma nova classificação baseada no pH e na temperatura das águas do Vale das Furnas. Posteriormente, em 1954, analisou as seguintes águas da ilha de São Miguel: Ladeira Velha, Banhos Férreos, Serra do Trigo, Lombadas, Água ou Banhos dos Cabaços e Sanguinhal, todas minerais, e ainda a água da Camarça, Pedras do Galego e Glória Patri que classificou como potáveis (Carvalho, 1955).

Durante a década de sessenta, princípios da década de setenta do séc. XX, as águas minerais de S. Miguel não foram objecto de nenhum estudo analítico de vulto, e tudo que foi sendo publicado estava filiado no legado de Herculano Carvalho. No entanto é de assinalar a partir do final da década de cinquenta, informações crescentes acerca das águas minerais de outras ilhas do arquipélago dos Açores, presentes na "Carta Geológica de Portugal, publicada pelos Serviços Geológicos de Portugal, que reúne contributos de numerosos investigadores de que citamos:

- Carta Geológica de Portugal (1/25000) - Notícia Explicativa da folha do Faial (Açores) (Zbyszewski *et al*, 1959), que refere a única nascente de água mineral conhecida até ao momento - Varadouro -, apresentando uma análise de Charles Lepierre de 1931 e o seu respectivo uso terapêutico.

" Trata-se, (...) de uma água essencialmente cloretada, bastanta bicarbonatada sódica e bastante sulfatada cálcica (...). A sua temperatura varia entre 35ºC e 40ºC.

Esta água é utilizada no tratamento de gastrites, hepatites, colites, doenças de pele e reumáticos. No decurso do sismo de Maio de 1958 um grande desprendimento de terras, caídas da escarpa, subterrou três das nascentes, as quais se situam junto ao mar" (Zbyszewski *et al*, 1959).

- Carta Geológica de Portugal (1/50000) - Notícia Explicativa da folha A da ilha do Pico (Açores) (Zbyszewski *et al*, 1963), que dá conta da nascente de água mineral da Silveira, localizada a W da Silveira. Lepierre (1931) definiu-a como água meso-salina termal e essencialmente cloretada sódica, ligeiramente magnesiana e bicarbonatada sódica, cuja temperatura era de 31ºC. Em 1954, Frederico Machado apresentou um valor de temperatura muito diferente, 14ºC, relativamente a Charles Lepierre.

- Carta Geológica de Portugal (1/25000) - Notícia Explicativa da folha da ilha das Flores (Açores) (Zbyszewski *et al*, 1968), que contém referências às águas minerais da ilha das Flores, nomeadamente à Água Lajedo ou Costa e ao Poio Moreno, de que são apresentadas análises químicas de 1961, efectuadas num laboratório de Viena de Áustria.

- Carta Geológica de Portugal (1/50000) - Notícia Explicativa da folha da ilha da Terceira (Açores) (Zbyszewski *et al*, 1971), que informa da existência de diversas nascentes de águas minerais, todas localizadas ao nível do mar, na base das arribas da costa ocidental da ilha, entre Biscoitos e Doze Ribeiras, salientando-se que a única água mineral analisada é a da Serreta, datada de 31 de Julho de 1920 e efectuada no laboratório de química analítica do Instituto Superior Técnico por Charles Lepierre.

- Carta Geológica de Portugal (1/50000) - Notícia Explicativa da folha da ilha da Graciosa (Açores) (Zbyszewski *et al*, 1972), que indica a existência de vários pontos de água mineral na ilha da Graciosa, salientado-se como mais conhecida (desde 1750), a do Carapacho, a nascente de água quente na praia dos Homiziados e a nascente de água morna das Queimadas, na baía da Vitória, que sai de uma fenda aberta na rocha basáltica. Ainda nesta publicação é apresentada uma análise físico-

química de Herculano Carvalho de 1948 sobre a água do Carapacho mas atribuída erradamente a Luís Acciaiuoli com a data de 1953 e o seu respectivo valor terapêutico.

" Trata-se de uma água cloretada, bicarbonatada sódica e reacção levemente alcalina, utilizada para o tratamento de reumatismos, paralisias, nevrites, ciáticas, doenças de pele, doenças do aparelho digestivo, anemias, artritismo, osteites, linfatismo, etc" (Zbyszewski *et al* , 1972).

- Carta Geológica de Portugal (1/50000) - Notícia Explicativa das folhas "A" e "B" da ilha de S. Jorge (Açores) (Forjaz *et al*, 1975), que informa e destaca as águas minerais da Fajã do Nortezinho, da Fajã dos Vimes e da Ponta da Forcada. Apresenta, ainda, em anexo as análises físico-químicas da Fajã dos Vimes e da Fajã do Nortezinho, efectuadas a 8 de Janeiro de 1969 pelo Instituto Superior Técnico (I.S.T.).

Do período mais recente da actividade científica ligada à Universidade dos Açores há que referir alguns trabalhos importantes para o conhecimento e sistematização relativos às águas minerais dos Açores, como Cruz *et al.* (1999), Carvalho (1999); Cruz & França (2006), Costa (2006), Freire (2006) e (Cruz *et al.* 2010c).

8.4.2 | BALNEOTERAPIA

As primeiras instalações balneares foram referenciadas em 1791 por Valois da Silva no Vale das Furnas, perto da Caldeira Grande. Eram constituídas por choupanas cobertas por palha em cujo interior estavam colocadas banheiras de madeira, sendo possível observar a localização destes toscos balneários no "Mappa das Caldeiras das Furnas na ilha de São Miguel" de 1792 (Acciaiuoli, 1940).

O desenvolvimento do termalismo sofreu um grande impulso no final do século XVIII e durante o século XIX, tendo sido edificados numerosos edifícios balneares, públicos e privados, não só no Vale das Furnas, mas também nas Caldeiras da Ribeira Grande. Entre os balneários existentes nas Furnas merece particular menção o actual Centro Termal das Furnas, antigo "Balneário Grande" da Junta Geral de Ponta Delgada, cuja construção remonta a 1863, e os "Banhos da Côroa" construídos em 1811 nas Caldeiras da Ribeira Grande (Acciaiuoli, 1940).

No relatório da visita à ilha de São Miguel, em 1937, pelo Engenheiro Luiz Castro Solla, Director Geral de Minas e Serviços Geológicos, são inventariados e descritos os balneários existentes na região das Furnas, contando-se, entre os públicos, o balneário da Câmara Municipal da Povoação, os "Banhos do Chalet" e o Estabelecimento Termal das Furnas (antigo "Balneário Grande"), ambos da Junta

Autónoma do Distrito de Ponta Delgada. Entre os particulares estão os balneários, “Albano da Ponte”, “Eugénio da Câmara”, “Manuel Moniz ou Banhos dos Cabaços”, “Banhos de José Jacinto”, “Condessa de Cuba” e “António Albuquerque”. Fora da região das Furnas, o mesmo relatório aponta os "Banhos da Côroa", a cargo da Junta Autónoma, alimentados pelas Caldeiras da Ribeira Grande e o Hospital Termal da Ferraria (Figura 8.4) (Acciaiuoli, 1940).

Figura 8.4 | Edifício Termal da Ferraria.

No ano seguinte, 1938, Luiz Acciaiuoli e o Dr. Armando Narciso visitam de novo as nascentes de águas minerais de São Miguel e elaboram o respectivo relatório que fundamentalmente corrobora o relatório de 1937 de Luiz Castro Solla, mas refere um outro estabelecimento balnear particular, o balneário da Ladeira Velha junto à estação de engarrafamento da mesma água (Acciaiuoli, 1940).

Como considerações finais o relatório refere que as águas minerais de São Miguel, devido à maneira muito rudimentar como estão a ser exploradas, só têm sido empregadas no tratamento de reumatismo, doenças de pele e circulação, embora pudessem ser aplicadas a todas as especialidades da terapêutica hidrológica. Conclui que a “Ilha Verde” pode ser aproveitada com óptimo rendimento na indústria do turismo se à riqueza hidrológica devidamente explorada se associar às belezas naturais da ilha. Por último tal relatório faz alusão a necessidade de realizar um inquérito às ilhas do distrito de Angra do Heróismo e da Horta para que o

conhecimento das águas minerais do arquipélago dos Açores fique completo (Acciaiuoli, 1940).

As termas do Carapacho, na ilha da Graciosa, foram construídas no século XIX. O edifício oitocentista foi remodelado pela promeira vez no início dos anos cinquenta do século XX, sendo atribuída uma nova concessão de exploração à Junta Geral de Angra do Heróismo por decreto a 4 de julho de 1953. Já perto do final da primeira década do seculo XXI o Centro Termal foi objecto de nova remodelação e ampliação da respectiva área termal (Figura 8.5). Estas termas eram procuradas pela população na na profilaxia de doenças reumáticas, de pele, do fígado e de colites, sendo a forma de tratamento mais usual os banhos de imersão.

As termas do Varadouro, na ilha do Faial, foram inauguradas a 1 de Agosto de 1954. O autor do projecto do balneário das termas, correspondente ao modelo de divisão por sexos, em duas alas, e buvette central, foi o arquitecto Eduardo Real Teixeira (1914-1996). A água mineral das termas do Varadouro era indicada e utilizada no tratamento de gastrites, colites, doenças de pele e reumatismo.

Actualmente todos os centros e balneários termais do arquipélago dos Açores encontram-se inactivos com excepção do balneário dos "Banhos Férreos" e o balneário dos "Banhos da Corôa", situados respectivamente, na vila das Furnas e no lugar das Caldeiras da Ribeira Grande.

Figura 8.5 | Termas do Carapacho.

8.4.3 | INDÚSTRIA DE ENGARRAFAMENTO DE ÁGUAS MINERAIS

Para além da balneoterapia, o engarrafamento de água mineral gasocarbónica na ilha de São Miguel constituiu uma importante actividade, aliás mais lucrativa que a balneoterapia. Esse engarrafamento, descontinuado na maioria dos casos, esteve sempre ligado a concessões, sendo conhecidas a "Água da Serra do Trigo", a "Água de Alcântara", a "Água da Helena", na freguesia das Furnas, concelho da Povoação e a "Água das Lombadas", na freguesia de Nossa Senhora da Conceição, concelho da Ribeira Grande.

A "Água das Lombadas" e da "Serra Trigo" merecem uma referência especial, pois são sem dúvida as mais importantes águas minerais engarrafadas dos Açores, ao longo do tempo.

O reconhecimento oficial das nascentes de águas minerais Lombadas, Serra do Trigo e Água de Alcântara, bem como a demarcação das áreas reservadas das três nascentes em regime de concessão provisória foram feitos pelo engenheiro Pedro Joyce Moniz, em 1934, que assinou os respectivos autos com os representantes das empresas, respectivamente Meyrelles e C.ª (Albano Mendes), empresa das águas da Serra do Trigo (João Augusto Carreira de Mendonça) e empresa da Água de Alcântara (Aristides Moreira de Mota). Estes locais de engarrafamento foram posteriormente visitados por Luiz Castro e Solla (1937), Luiz Acciaiuoli e o Dr. Armando Narciso (1938) que confirmaram o abandono das instalações da Água de Alcântara. Nesta época também eram alvo de engarrafamento as águas minerais, da "Ladeira Velha", dos "Castelinhos" e das "Lombadas", hoje em ruínas (Acciaiuoli, 1940).

A publicação da primeira análise quantitativa da água mineral das "Lombadas" data de 1888. Esta análise é de autoria de Alfred Riche, "Membro da Academia de Medicina de Paris, professor de Chemica na Escola Superior de Pharmacia de Paris" e de Charles Bardy perito junto ao "Tribunal Civil do Departamento do Sena" (Riche & Bardy, 1888). Estes autores referem ainda terem ficado impressionados com as qualidades excepcionais destas águas, como águas de mesa, devido à riqueza de gás carbónico e baixa mineralização, declararam que esta água era superior à de "Saint Galmier", cuja fama e uso estavam largamente difundidos em França e na Europa. Na publicação "Água Carbo-Gazosa das Lombadas, ilha de S. Miguel (Açores)", da responsabilidade da Typographia Industrial Portuguesa (1893), pode ler-se:

"A agua das Lombadas é a agua de mesa por excellencia; é a única que satizfaz a todas as condições exigidas para uma água de consumo ordinário, em larga

escala, pela sua composição chimica, em que, junto à insignificante mineralização, predomina o àcido carbónico; não contendo germens perigosos ou suspeitos, nem principio algum nocivo".

Figura 8.6 | Cartaz publicitário "Água das Lombadas" (Freire-Grav., 1904.

Rapidamente, a popularidade e uso da água de mesa das Lombadas (Fig. 8.6) estendeu -se ao território continental, tendo sido atestado em 1904 que o CO_2 contido na água das Lombadas era natural e não introduzido artificialmente, quer pelas autoridades de São Miguel, quer pelo Cônsul britânico e Vice-Cônsules dos E. U. A e E. U. do Brasil, residentes em São Miguel (Freire-Grav., 1904).

A "Água Serra do Trigo" é explorada como água de mesa desde o princípio do século XX, tendo sido presente e reconhecida como uma das melhores, na "Exposição Universal de St. Louis (1904)" e na "Exposição Açoriana das "Artes e Indústrias" (1911), como atestam as medalhas de ouro e prata que lhe foram atribuídas. A primeira análise, muito sumária, foi feita em Lisboa pelo analista João Rocha e assinada pelo Dr. Virgílio Machado, em 1898. Tem data a data de 23 de Março de1900 e deve-se a Hugo Mastbaum, que no final da análise escreveu como síntese: "esta

água, portanto, de fraca mineralização total, fortemente silicatada, carbogazosa e pronunciadamente acidulada. Sendo além d'isso muito pobre em substâncias orgânicas e bacteriologicamente insuspeita, a Água da Serra do Trigo constitui uma óptima água de mesa (Typ. Do Annuario Commercial, 1922). Na revista "Encyclopedie Contemporaine, de 15 de Janeiro de 1905, há um longo artigo sobre a Água da Serra do Trigo, feita pelo Dr. Loredan que tece os maiores elogios a esta e cita o acolhimento imediato pelo médico das Furnas, Dr. Mont' Alverne Sequeira que a tinha mandado analisar em Lisboa (Typ. Do Annuario Commercial, 1922). Posteriormente, Charles Lepierre em 1937 e Herculano Carvalho em 1955 analisararam esta água.

Actualmente a "Água da Serra do Trigo" é das águas referidas anteriormente, a única a ser explorada com o nome comercial de "Magnificat" por uma empresa que pertence ao grupo "Renova", a qual explora também a nascente "Gloria Patri".

Figura 8.7 | Garrafas de água "Serra do Trigo".

8.4.4 | PELOTERAPIA

A peloterapia é uma terapêutica ainda pouco explorada no arquipélago dos Açores que tem potencialidades já reconhecidas, particularmente na ilha de São Miguel (região das Furnas) e na ilha Terceira (Furnas do Enxofre). Com efeito algumas argilas e lamas usadas actualmente em aplicações medicinais provêm de depósitos relacionados com nascentes termais e são aplicadas sob a forma de pelóides (cataplasmas ou emplastros quentes), recomendados no tratamento de lesões crónicas articulares com rigidez e afecções osteoarticulares e musculares (Terroso, 2005).

A obra mais significativa sobre a temática da peloterapia nos Açores deve-se a Terroso (2005). Neste trabalho foram analisadas, em São Miguel, sete amostras de lamas colhidas junto as Caldeiras Barrentas I e II, Caldeira Ribeira dos Tambores, Caldeira da Lagoa das Furnas, Caldeiras da Ribeira Grande, junto à nascente da Água Santa e no balneário das Furnas (termo de comparação); foram também feitas análises físico-químicas a dezanove águas minerais, doze correspondentes a emergências (Água Azeda do Rebentão, Água de Prata, Água do Caldeirão, Água Santa, Miguel Henriques, Dr. Bruno, Caldeira Grande, Caldeira Asmodeu, Caldeira do Esguicho, Grutinha I, Grutinha II e Quentuas I), cinco correspondentes a água das Caldeiras onde foi amostrada a lama e duas colhidas no Centro Termal do Balneário das Furnas. Na ilha Terceira foram colhidas e analisadas quatro amostras de lama provenientes das Furnas do Enxofre.

As lamas recolhidas quer na ilha de São Miguel, quer na ilha Terceira foram sujeitas às seguintes análises: granulométrica, superfície específica, mineralógica, química e ensaios tecnológicos (expansibilidade, calor específico, índice de plasticidade, curvas de arrefecimento, abrasão e índice de abrasividade), tendo-se concluído que as lamas mais apropriadas no campo da peloterapia, em comparação com as duas amostras de referência, balneário das Furnas e termas do Vale dos Cucos (Torre Vedras), eram as da Caldeira Barrentas II, as da Caldeira da Ribeiras dos Tambores e duas das amostras das Furnas do Enxofre.

8.4.5 | MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

No arquipélago dos Açores ocorrem numerosas emergências de água mineral que apresentam uma variabilidade de tipos químicos e de magnitude de mineralização. Um dos aproveitamentos dos recursos hidrominerais correspondente à

aplicação da monitorização hidrogeoquímica das águas minerais no âmbito da vigilância sismo-vulcânica.

O Centro de Vulcanologia e Avaliação dos Riscos Geológicos (CVARG) desenvolveu um sistema de monitorização hidrogeoquímica para apoiar acções de protecção civil na região. Desta forma o CVARG monitoriza treze pontos de água mineral, seis pertencentes ao Complexo Vulcânico das Furnas (Caldeira Grande, Água Azeda, Água do Caldeirão ou Chalet Quente, Quenturas I, Torno e Caldeira da Lagoa das Furnas) e sete pertencentes ao Complexo Vulcânico de Água de Pau (Lombadas, Lombadas "doce", Lombadas Furo II, Pocinha, Caldeira Velha nascente e Caldeira Velha fumarola e Ladeira Velha). Para todas as emergências referidas anteriormente, com uma periodicidade quinzenal, são registados os parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, condutividade eléctrica, dióxido de carbono livre, alcalinidade), os teores de catiões (sódio, potássio, cálcio e magnésio) e os teores de aniões (fluoreto, cloreto, nitrato, sulfato e bicarbonato) (Freire *et al.*, 2010 e 2011).

8.4.6 | GEOTERMIA - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

Nos Açores, os primeiros estudos de energia geotérmica, com vista à produção de energia eléctrica, remontam a 1951. Os estudos foram realizados pelos Dr. Giovanni Ginori e Dr. Gino Gappon ligados ao aproveitamento geotérmico em Larderello (Itália), a pedido de um grupo de entidades particulares (Dr. Augusto Arruda, Visconde do Botelho, Eng. Gago Medeiros e Eng. Branco Cabral) que solicitara uma autorização de pesquisa, em regime de exclusividade, dos gases naturais nas regiões das Furnas e da Ribeira Grande. O relatório desses estudos com parecer favorável ao aproveitamento da energia geotérmica, foi contestado, não só politicamente, por se considerar que seria "uma ruína turística e um perigo para os habitantes", mas também pela Missão Geológica enviada em 1952, na sequência do pedido do grupo de entidades supracitado (Forjaz, 1991).

Em 1953, o Professor Custódio Morais visitou as caldeiras naturais de São Miguel, deslocando-se em seguida às ilhas Terceira e Graciosa. No relatório apresentado manifestava a opinião que a realização de sondagens na região das Furnas, poderia alterar o funcionamento das caldeiras, prejudicando o turismo e dava como alternativa à localização das pesquisas destinadas ao aproveitamento geotérmico, a vizinhança da Caldeira Velha e as Furnas do Enxofre (Ilha Terceira), zonas afastadas das povoações (Zbyszewski, 1970). Ainda em 1953, uma Missão da Direcção Geral de Combustíveis, constituída pelo Eng. Machado Palha e o Eng. Técnico Henrique Santos, deslocou-se a São Miguel tendo como principal objectivo

colaborar com o Professor Herculano de Carvalho na determinação da composição química dos gases naturais emanados pelas caldeiras das Furnas e da Ribeira Grande. O relatório apresentado dá conta que o constituinte dominante desses gases, em larga escala (> 98 %) era o CO_2 o que não tinha interesse especial, mas que as possibilidades de aproveitamento das caldeiras, considerando o factor energia, era de considerar (Zbyszewski, 1970).

Em 1966 o problema da energia geotérmica nos Açores foi estudado pelo Dr. Júlio Quintino, sob o patrocínio da Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada. Quintino propôs a realização de trabalhos preliminares de prospecção e de avaliação do potencial térmico na região das Furnas, numa área de 30 Km^2, segundo um plano dividido em quatro fases (Zbyszewski, 1970).

Zbyszewski (1970) identificou a presença de manifestações geotérmicas (saída de gases a temperatura elevada, fumarolas e nascentes quentes) nas seguintes ilhas do arquipélago dos Açores: São Miguel (Maciço Vulcânico das Furnas, Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau e Maciço Vulcânico das Sete Cidades), Terceira (Furnas do Enxofre e junto ao farol da Serreta); Graciosa (Vulcão da Caldeira, Carapacho e Ponta da Barca); Pico (flancos e cratera do Piquinho); Faial (Vulcão dos Capelinhos e Caldeira do Faial); Flores (Lajedo). Da mesma obra faz parte uma súmula dos estudos realizados anteriormente (1951, 1952, 1953, 1966), e referencia o levantamento de mapas geológicos, pelos Serviços Geológicos, apresentando como conclusão que as zonas geotérmicas mais interessantes eram as que estavam relacionadas com os maciços vulcânicos da Serra de Água de Pau e das Furnas. Relativamente às Furnas, onde se concentram mais manifestações geotérmicas, pôs-se como problema, o turismo e a presença de numerosas e variadas nascentes mineromedicinais, tendo-se apontado como zona mais favorável às pesquisas geotérmicas a Ribeira dos Tambores.

Em 1973, foi feita uma sondagem profunda (981 m) no Graben da Ribeira Grande (a escolha inicial tinha sido o Graben dos Mosteiros), em colaboração com a Universidade Canadiana de Dalhousie que já havia contactado no ano anterior a Junta Geral do Distrito Autónomo de Ponta Delgada e a Faculdade de Ciências de Lisboa (Forjaz, 1991; Muecke *et al.*, 1974).

Em 1975, por iniciativa da Direcção Geral da Energia, foi constituída a Comissão Nacional de Geotermia (CNG) que agregava especialistas ligados a várias instituições. A CNG, ponderadas as vantagens e condicionantes das três áreas geotérmicas da ilha de São Miguel, optou pela área da Ribeira Grande. Com efeito,

apesar da região das Furnas parecer mais promissora receou-se um colapso do regime hidrogeológico (Forjaz, 1991).

Em Agosto de 1976 a CNC iniciou os preparativos para o concurso internacional, visando a prospecção geotérmica do Maciço Vulcânico de Água de Pau. O concurso foi ganho pela empresa americana “Geonomics” que assentou com a CNG e a Junta Regional dos Açores um programa de prospecção, designado por Projecto Geotérmico da Ribeira Grande (PGRG) que culminou na construção da Central Geotérmica do Pico Vermelho. Os primeiros KWh de energia eléctrica foram produzidos em Setembro de 1980 (Forjaz, 1991).

Em 1993/1994 foi construída em São Miguel a Central Geotérmica da Lagoa do Fogo que arrancou a sua produção eléctrica em 1994 (Carvalho, 1999). Actualmente está em fase de construção a Central Geotérmica da Ilha Terceira.

8.5 | O POTENCIAL SOCIOECONÓMICO DAS ÁGUAS MINERAIS DOS AÇORES

A avaliação do potencial socioeconómico das ilhas do arquipélago dos Açores relativamente aos recursos em águas minerais baseia-se numa expressão matemática, PSE = ∑ 0,2 x critério I + ∑ 0,8 x critério II, que tem em conta a ponderação de dois critérios, designadamente o critério I e o critério II.

O critério I, de coeficiente igual a 0,2, aplica-se aos descritores ligados indirectamente às águas minerais, nomeadamaente: A - população residente; B - capacidade de alojamento; C - ligações aéreas directas ao continente.

O critério II, de coeficiente igual a 0,8, abrange os descritores relacionados directamente com a temática hidrogeológica e são: D - massas de água em estado quantitativo medíocre; E - massas de água em estado químico medíocre; F - tradição no uso de águas minerais; G - nascentes água mineral; H - nascentes água gasocarbónica; J - nascentes água termal; K - diversidade hidrogeoquímica; L - estruturas de balneoterapia; M - infraestruturas de engarrafamento; N - outros aproveitamentos; O - acessibilidades aos pontos de água mineral; P - investimentos na última década.

De acordo com as observações registadas na Tabela 8.1 os descritores A e B podem ser classificados em quatro grupos aos quais são atribuídos, respectivamente os valores 1,2,3 e 4. Aos descritores C, D, E, F, L, M, N, O e P são atribuídos os valores 0 ou 1. Os descritores G, H, J e K podem tomar os valores 0, 1, 2 ou 3.

Aplicando a expressão matemática referida, pode determinar-se numericamente o potencial socioeconómico de cada ilha do arquipélago dos Açores, o qual é traduzido por um valor inscrito na última linha da Tabela 8.1.

Analisando os valores obtidos concluiu-se que a ilha de potencial socioeconómico mais elevado é São Miguel, (17,8), seguindo-se, por ordem decrescente, a Graciosa (9,2), o Faial (7,8), a Terceira (6,4), São Jorge, o Pico (4,6) e as Flores (4,6). Apesar de na ilha de Santa Maria e na ilha do Corvo não existirem águas minerais, os valores, respectivamente de 2,6 e 2,0 que figuram na tabela 8.1 devem-se ao facto de na expressão matemática usada terem sido considerados descritores ligados indirectamente às águas minerais, bem como os descritores D e E, ambos relacionados genericamente com as massas de água.

Tabela 8.1 | Avaliação do potencial socioeconómico das águas minerais no arquipélago dos Açores.

	Santa Maria	São Miguel	Terceira	Graciosa	Faial	São Jorge	Pico	Flores	Corvo
A - População Residente	2	4	4	1	3	1	3	1	1
B - Capacidade de Alojamento	2	4	4	1	3	1	3	2	1
C - Ligações Aéreas Directas ao Continente	1	1	1	0	1	0	1	0	0
D - Massas de Água em Estado Quantitativo Medíocre	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E - Massas de Água em Estado Químico Medíocre	1	1	1	0	1	1	0	1	1
F - Tradição no Uso de Águas Minerais	0	1	0	1	1	0	0	0	0
G - Nascentes Água Mineral	0	3	2	2	1	1	1	1	0
H - Nascentes Água Gasocarbónica	0	3	0	1	0	0	0	0	0
J - Nascentes Água Termal	0	3	0	2	1	0	0	1	0
K - Diversidade Hidrogeoquímica	0	3	1	1	1	2	1	1	0
L - Estruturas de Balneoterapia	0	1	0	1	1	0	0	0	0
M - Infraestruturas de Engarrafamento	0	1	0	0	0	0	0	0	0
N - Outros Aproveitamentos	0	1	0	0	0	0	0	0	0
O - Acessibilidades aos Pontos de Água Mineral	0	1	1	1	1	1	1	0	0
P - Investimentos na Última Década	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Potencial socioeconómico (PSE) = ∑ 0,2 x critério I + ∑ 0,8 x critério II	2,6	17,8	6,4	9,2	7,8	5,2	4,6	4,6	2,0

Observações: **A (nº de residentes)**- x≤4391=1; 4392 ≤ x ≤ 9171=2; 9172 x ≤14994=3; 14995≤ x ≤137830=4; **B (nº de camas turísticas)** - x≤553=1; 554 ≤ x≤660= 2 ; 661≤ x ≤ 1734=3; 1735≤ x ≤7605=4; **C** -0= Não; 1= Sim; **D** - 0= Sim; 1= Não; **E**- 0= Sim; 1= Não; **F** - 0= Não; 1= Sim; **G** - 0= nenhuma; 1= 1 a 5; 2= 6 a 10; 3= >10; **H** - 0= nenhuma; 1= 1 a 5 ; 2= 6 a 10; 3= >10 ; Água Gasocarbónica - [CO2]≥600mg/L; **J** - 0= nenhuma; 1= 1 a 5 ; 2= 6 a 10; 3= > 10 ; Água Termal ≥ 25º C ; **K** - 0= nenhuma; 1= uma Fácies; 2= duas Fácies; 3= três Fácies; **L** - 0= Não; 1= Sim; **M** - 0= Não; 1= Sim; **N** - 0= Não; 1= Sim; **O** - 0= difícil; 1= fácil; **P** - 0= Não; 1= Sim.

Critérios: I - corresponde aos descritores ligados indirectamente às águas minerais; II - corresponde aos descritores relacionados directamente com as águas minerais.

9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No arquipélago dos Açores, constituído por nove ilhas de origem vulcânica localizadas entre as latitudes 37ºN e 40º N e as longitudes 25ºW e 31ºW, ocorrem numerosas nascentes de águas minerais, predominantemente gasocarbónicas e termais que constituem importantes recursos hidrominerais. Estes pontos de água mineral encontram-se espalhados por quase todo o arquipélago, nomeadamente nas ilhas, Terceira, Graciosa, Faial, São Jorge e Pico (grupo Central), Flores (grupo Ocidental), sendo particularmente numerosos na ilha de São Miguel (grupo Oriental). Estas águas apresentam uma grande variedade de tipologia química e de magnitude de mineralização, devido a influências sofridas até à emergência, correspondendo na sua maioria, a descargas de aquíferos de altitude em vulcões activos. A caracterização hidrogeológica dos recursos hidrominerais dos Açores e a avaliação do potencial sócioeconómico destes recursos constituem o objecto do presente trabalho.

A caracterização das ilhas do arquipélago dos Açores onde existem emergências de águas minerais abrangeu os enquadramentos, geográfico, administrativo, geológico (modelado vulcânico, tectónica e geologia) e hidrogeológico.

O padrão de distribuição dos dos 116 pontos de água mineral inventariados. revela uma profunda assimetria: 85 pontos de água mineral (73,2%) em São Miguel, nove (7,8%) na Terceira, nove (7,8%) na Graciosa, três (2,6%) no Faial, seis (5,2%) em São Jorge, dois (1,7%) no Pico e dois (1,7%) nas Flores.

Em cada ilha, atendeu-se à localização geográfica por concelhos, aos sistemas ou complexos vulcânicos, às massas de água, ao tipo de ocorrência e ao tipo de aquífero.

Na ilha de São Miguel verifica-se que os 85 pontos de água mineral se distribuem apenas por quatro concelhos, respectivamente Povoação (52 pontos, 61%), Ribeira Grande (26 pontos, 31%), Ponta Delgada (seis pontos, 7%) e Vila Franca do Campo (um ponto, 1%). A distribuição dos pontos de água mineral envolve quatro sistemas vulcânicos, respectivamente Vulcão das Furnas (51 pontos, 60%), Vulcão da Povoação (um ponto, 1%), Vulcão do Fogo (27 pontos, 32%) e Vulcão das Sete Cidades (seis pontos, 7%). Os 85 pontos de água mineral inventariados distribuem-se por três das seis massas de água, respectivamente Furnas - Povoação (52 pontos, 61%), Água de Pau (27 pontos, 32%) e Sete Cidades (seis pontos, 7%). No que concerne ao tipo de ocorrência constata-se que 63 pontos de água são nascentes (74%), 12 pontos são fumarolas (14%), nove são furos (11%) e um é poço (1%).

Quanto à tipologia dos aquíferos verifica-se que 71 pontos de água mineral emergem a partir de aquífero de altitude (84%) e 14 (16%) a partir de aquífero de base.

Na ilha Terceira os nove pontos de água mineral distribuem-se por dois concelhos, Angra de Heroísmo (seis pontos, 66,7%) e Praia da Vitória (três pontos, 33,3%), por quatro complexos vulcânicos, respectivamente C.V. Guilherme Moniz (um ponto, 11%), C.V. de Santa Bárbara (dois pontos, 22%), C.V. do Pico Alto (um ponto, 11%) e Zona Basáltica Fissural (cinco pontos, 56%) e por quatro, das 11 massas de água, respectivamente Aquífero Central (um ponto, 11%), Santa Bárbara Inferior (dois pontos, 22%), Labaçal - Quatro Ribeiras (um ponto, 11%) e Biscoitos - Terra Chã (cinco pontos, 56%). No que diz respeito ao tipo de ocorrência verifica-se que oito pontos (89%) são nascentes e um ponto (11%) é furo e quanto ao tipo de aquífero constata-se que são todos de base (100%).

Na ilha Graciosa os nove pontos de água mineral distribuem-se por um só concelho, Santa Cruz da Graciosa, por dois complexos vulcânicos, Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central (sete pontos, 78%) e Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade de Vitória (dois pontos, 22%) e por 2 massas de água, Plataforma Santa Cruz-Guadalupe (dois pontos, 22%) e Compósito (sete pontos, 78%). Relativamente ao tipo de ocorrência, três pontos (33%) são nascentes e seis pontos (67%) são furos e quanto ao tipo de aquífero verifica-se que todos são de base.

Na ilha do Faial, os três pontos de água mineral localizam-se no concelho da Horta, distribuem-se pelos complexos vulcânicos, do Capelo (dois pontos, 67%) e dos Cedros (um ponto, 33%) e pelas massas de água, Cedros - Castelo Branco (dois pontos, 67%) e Capelo (um ponto, 33%). Relativamente ao tipo de ocorrência, um ponto (33%) é nascente e dois pontos (67%) são furos, verificando-se que todos correspondem a aquíferos de base.

Na ilha de São Jorge, os seis pontos de água mineral localizam-se no concelho da Calheta, distribuem-se pelos complexos vulcânicos, do Topo (cinco pontos, 83%) e das Manadas (um ponto, 17%) e pela massa de água Oriental, sendo todos (100%) nascentes. Relativamente ao tipo de aquífero verifica-se que quatro pontos (67%) são de altitude e dois pontos (33%) são de base.

Na ilha do Pico, os dois pontos de água mineral distribuem-se nos concelhos, de Lajes do Pico (um ponto, 50%) e de Santo Amaro (um ponto, 50%) e localizam-se no Complexo Vulcânico São Roque - Piedade e na massa de água Piedade,

verificando-se que um ponto (50%) é nascente e o outro ponto (50%) é poço, e que ambos os pontos (100%) correspondem a aquíferos de base.

Na ilha das Flores, os dois pontos de água mineral distribuem-se nos concelhos, de Lajes das Flores (um ponto, 50%) e de Santa Cruz das Flores (um ponto, 50%), no Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB1 (um ponto, 50%) e no Complexo Vulcânico de Base: Unidade Superior - CB2 (um ponto, 50%), localizando-se ambos os pontos na massa de água Inferior. Os dois pontos de água mineral são nascentes, constatando-se que um ponto corresponde a um aquífero de base e o outro ponto corresponde a um aquífero de altitude.

A metodologia da caracterização hidrogeoquímica das águas minerais do arquipélago dos Açores compreendeu amostragens realizadas entre 2009 e 2010, sendo os parâmetros físico-químicos determinados *in situ*, segundo a literatura científica usual. A determinação de aniões e de catiões foi feita no laboratório, utilizando os métodos, respectivamente, da cromatografia iónica (aparelho DYONEX ICS-1000) e da espectroscopia da absorção atómica-método da chama (aparelho GBC 906 AA), o que contribuiu para a optimização dos resultados analíticos obtidos.

No que diz respeito aos parâmetros físico-químicos verifica-se que relativamente à temperatura se observa o valor máximo de 99,8 ºC (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel) e mínimo de 13,20 ºC (massa de água, Água de Pau, São Miguel). A condutividade eléctrica apresenta como valor máximo 53000 µS/cm (massa de água Compósito, Graciosa) e como valor mínimo 122 µS/cm (massa de água, Água de Pau, São Miguel), sendo de assinalar que a média mais elevada de condutividade eléctrica (23651,11 µS/cm) pertence à ilha Graciosa. O pH regista um valor máximo de 7,90 (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel) e um mínimo de 2,09 (massa de água Agua de Pau, São Miguel). Os valores da alcalinidade variam entre 929 mg/L (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel) e 10 mg/L (massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, Graciosa). O valor de CO_2 livre regista um máximo de 2407 mg/L (massa de água Oriental, São Jorge) e um mínimo de 2 mg/L (massa de água Biscoitos - Terra Chã, Terceira).

Para a determinação da composição química das águas minerais foram considerados quatro catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}), cinco aniões (SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-, F^- e NO_3^-), 17 elementos menores e em traço e a sílica (SiO_2), tendo sido levado a cabo um tratamento estatístico, com indicação, para cada um dos componentes, do número de amostras, da média, do desvio padrão, do máximo, do mínimo e da mediana, por ilha, por massa de água em cada ilha e no arquipélago dos Açores.

O catião sódio destaca-se pela sua abundância relativa, apresentando uma concentração média de 740,67 mg/L, com um máximo de 15944,40 mg/L (massa de água Compósito, Graciosa) e um mínimo de 14,47 mg/L (massa de água Água de Pau, São Miguel). Segue-se o catião cálcio com um valor médio de concentração igual a 78,44 mg/L, um máximo de 848,60 mg/L (massa de água Compósito, Graciosa) e um mínimo de 1,66 mg/L (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel). As amostras, genericamente mais mineralizadas são as da ilha Graciosa, as quais apresentam teores consideráveis de potássio e magnésio com valores médios, respectivamente iguais a 228,64 mg/L e 426,89 mg/L; nestas amostras encontram-se também os valores máximos, registados no arquipélago dos Açores para os teores em potássio e magnésio, respectivamente 639,40 mg/L e 1060,80 mg/L, ambos pertencentes à massa de água Compósito. O valor mínimo para o catião potássio (0,40 mg/L) encontra-se na massa de água Santa Bárbara Inferior (ilha Terceira) e o valor mínimo para o catião magnésio (0,13 mg/L) situa-se na massa de água Furnas - Povoação (ilha de São Miguel).

Os aniões mais abundantes são o cloreto e o bicarbonato. O anião cloreto apresenta um valor máximo de concentração igual a 20588,52 mg/L (massa de água Compósito, Graciosa) e um mínimo de 10,30 mg/L (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel). O anião bicarbonato regista um valor máximo de concentração igual a 1133 mg/L (massa de água Furnas - Povoação, São Miguel) e um valor mínimo de 12,20 mg/L (massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, Graciosa) O anião sulfato tem um teor máximo de 2381,56 mg/L (massa de água Compósito, ilha Graciosa) e um mínimo de 1,90 mg/L (massa de água Plataforma de Santa Cruz - Guadalupe, Graciosa).

No arquipélago dos Açores destacamos, de entre os 17 elementos menores e em traço sujeitos a análise, o ferro (Fe), o manganês (Mn), o alumínio (AL), o estrôncio (Sr) e o zinco (Zn), colocados por ordem decrescente do seu valor médio, respectivamente, 1044,13 µg/L, 929,85 µg/L, 263,76 µg/L, 216,42 µg/L, 61,85 µg/L e 19,32 µg/L, dado a sua importância, quer para os estudos vulcanológicos, quer para a balneoterapia.

A sílica (SiO_2) apresenta um valor médio de 124,25 mg/L, destacando-se como mais elevado o valor médio na ilha de São Miguel (140,23 mg/L), onde se regista o valor máximo (433,11 mg/L), verificando-se na ilha Graciosa o valor mínimo (26,05 mg/L).

As fácies predominantes nas águas minerais do arquipélago dos Açores são a bicarbonatada sódica e a cloretada sódica; no entanto encontram-se algumas águas de fácies intermédias e amostras cujo quimismo é dominado pelo anião sulfato.

A avaliação do estado de equilíbrio das águas minerais no arquipélago dos Açores foi realizada, relativamente aos minerais de sílica (quartzo, calcedónia e sílica amorfa), aos principais minerais carbonatados (calcite e dolomite) e a alguns silicatos, envolvendo 14 espécies minerais e utilizando o programa Phreeqc Interactive no cálculo do Log IS.

No que diz respeito aos minerais de sílica verifica-se que as águas minerais do arquipélago dos Açores estão sobressaturadas em quartzo, esmagadoramente sobressaturadas em calcedónia, com excepção de três amostras, e subsaturadas em sílica amorfa, excepto Porto Formoso I (São Miguel).

Quanto aos principais minerais carbonatados, calcite e dolomite, observa-se, no geral, que as águas minerais no arquipélago dos Açores são subsaturadas nestas espécies de minerais. No entanto, em relação à calcite, existem 15 águas minerais sobressaturadas, oito na ilha de São Miguel, duas na ilha das Flores e cinco na ilha Graciosa. Quanto à dolomite registam-se 17 águas minerais sobressaturadas, 10 na ilha de São Miguel, duas na ilha das Flores e cinco na ilha Graciosa.

No que concerne aos silicatos estudou-se o índice de saturação das águas minerais da ilha de São Miguel em relação às plagioclases, anortite (Ca) e albite (Na), à mica potássica, ao feldespato potássico e aos minerais de argila, nomeadamente caulinite, montmorilonite cálcica e ilite.

Na generalidade, as emergências de água mineral no arquipélago dos Açores são subsaturadas em relação às plagioclases referidas. Relativamente à anortite verificam-se apenas duas excepções, uma na ilha de São Miguel e outra na ilha Graciosa que são sobressaturadas. Quanto à albite registam-se 21 águas minerais sobressaturadas, 11 na ilha de São Miguel, uma na ilha das Flores, uma na ilha do Pico, duas na ilha do Faial, uma na ilha de São Jorge, três na ilha Graciosa e duas na ilha Terceira.

As águas minerais no arquipélago dos Açores são genericamente sobressaturadas em relação aos minerais de argila, nomeadamente caulinite, montmorilonite cálcica e ilite. No entanto, relativamente à caulinite verifica-se que existem quatro águas minerais subsaturadas, três na ilha de São Miguel e uma na ilha de São Jorge. No que diz respeito à montmorilonite cálcica, constata-se que 17 águas minerais (15 na ilha de São Miguel, uma na ilha de São Jorge e uma na ilha Terceira)

são subsaturadas. Quanto à ilite registam-se 37 águas minerais subsaturadas (35 na ilha de São Miguel, uma na ilha de São Jorge e uma na ilha Terceira).

No arquipélago dos Açores, no que concerne ao gesso verifica-se que todas as emergências de água mineral, com excepção de uma, na ilha de São Miguel, são subsaturadas e relativamente à fluorite todas as águas minerais são subsaturadas, com excepção de uma, na ilha de São Miguel e outra na ilha de São Jorge.

Os principais processos hidrogeoquímicos modificadores da composição das águas minerais são a interacção água-rocha, a absorção de voláteis vulcânicos, nomeadamente o CO_2, e a mistura com fluidos hidrotermais ou sais marinhos e o aquecimento por vapor. A interpretação destes processos confirma a subdivisão das águas minerais de São Miguel em quatro Grupos, proposta por Cruz & França (2006). Os Grupos um e dois, emergentes a partir de aquíferos de altitude, englobam águas frias, termais e hipertermais, estas últimas relacionadas com fumarolas de pH básico. O terceiro Grupo é constituído por águas de fumarolas dominadas pelo ião sulfato, com pH muito baixo, fruto do processo de aquecimento por vapor. O quarto Grupo engloba águas frias e termais emergentes a partir de aquíferos de base, que apresentam composição química modificada por mistura de sais marinhos.

A Zona de Falha Penacova - Régua - Verin (Z.F.P.R.V.), activa, corresponde a uma importante estrutura que se estende por toda a Zona Centro Ibérica, verificando-se a presença de numerosas emergências de água mineral, localizadas nas zonas deprimidas da falha. Neste estudo, foram consideradas as águas minerais do troço Chaves - Verín, num total de 14, distribuídas por três Pólos Hidrominerais, designados, nomeadamente, por Pólo Hidromineral de Chaves (quatro águas minerais), Pólo Hidromineral de Vilharelho da Raia (duas águas minerais) e Pólo Hidromineral de Verín (oito águas minerais). Para cada um dos pólos hidrominerais foram efectuadas as localizações, geográfica e administrativa e apresentada uma descrição abreviada que inclui os enquadramentos, geomorfológico e geológico, bem como a caracterização hidrogeoquímica das águas minerais, agrupadas para o efeito em dois conjuntos, respectivamente, Trás-os-Montes (seis pontos de água mineral) e Galiza (oito pontos de água mineral), designando-se por Península Ibérica a totalidade (14) de águas minerais analisadas.

A caracterização hidrogeoquímica das águas minerais supracitadas englobou, parâmetros físico-químicos, elementos maiores (catiões e aniões), elementos menores e em traço, e sílica, tendo sido levado a cabo um tratamento estatístico, com indicação, para cada um dos componentes, do número de amostras, da média, do

desvio padrão, do máximo, do mínimo e da mediana em Trás-os-Montes, na Galiza e na totalidade de amostras (Península Ibérica).

No que diz respeito aos parâmetros físico-químicos verifica-se que relativamente à temperatura se observa o valor máximo de 67,40 ºC (Trás-os-Montes) e mínimo de 12,50 ºC (Galiza). A condutividade eléctrica apresenta como valor máximo 2600 µS/cm (Galiza) e como valor mínimo 202 µS/cm (Trás-os-Montes). O pH regista um valor máximo de 6,92 e um mínimo de 6,12, ambos pertencentes à Galiza. Os valores da alcalinidade variam entre o máximo de 1456,50 mg/L (Galiza) e o mínimo de 51,50 mg/L (Trás-os-Montes). O valor de CO_2 livre regista um máximo de 807 mg/L (Galiza) e um mínimo de 36,30 mg/L (Trás-os-Montes).

Na determinação da composição química das águas minerais foram considerados quatro catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+}), cinco aniões (SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-, F^- e NO_3^-), 17 elementos menores e em traço, e sílica (SiO_2).

O catião sódio destaca-se pela sua abundância relativa, apresentando um máximo de 547,52 mg/L e um mínimo de 10,30 mg/L, ambos em Trás-os-Montes. Segue-se o catião cálcio com um valor máximo de 106,36 mg/L e um mínimo de 7,74 mg/L, ambos na Galiza. O valor máximo para o catião potássio (61,94 mg/L) encontra-se na Galiza e o valor mínimo 2,19 mg/L em Trás-os-Montes. Relativamente ao catião magnésio, regista-se um valor máximo de 13,24 mg/L e um valor mínimo de 2,47 mg/L, ambos na Galiza.

O anião mais abundante é o bicarbonato que apresenta um valor máximo de 177,90 mg/L (Galiza) e um valor mínimo de 62,80 mg/L (Trás-os-Montes). Seguem-se o anião cloreto que regista um valor máximo de concentração igual a 41,95 mg/L e um mínimo de 7,45 mg/L, ambos em Trás-os-Montes e o anião sulfato que apresenta um teor máximo de 30,11 mg/L (Trás-os-Montes) e um mínimo de 0,21 mg/L (Galiza).

Entre os 17 elementos menores e em traço sujeitos a análise, destacam-se o ferro (Fe), o bário (Ba), o manganês (Mn), o alumínio (AL) e o zinco (Zn), colocados por ordem decrescente do valor médio, obtido para as 14 amostras analisadas O ferro apresenta um valor máximo de 2490 µg/L (Trás-os-Montes) e um mínimo de 40 µg/L (Galiza). O bário regista um valor máximo de 187 µg/L (Galiza) e um valor mínimo de 50 µg/L (Trás-os-Montes). O manganês regista um teor máximo de 723 µg/L e um mínimo de 16,10 µg/L, ambos em Trás-os-Montes. Os valores dos teores, máximo e mínimo para o alumínio são respectivamente iguais a 399 µg/L (Galiza) e 7 µg/L (Trás-os-Montes). Para o zinco encontra-se como valor máximo 61,10 µg/L e como valor mínimo 1,50 µg/L, ambos pertencentes à Galiza.

A sílica (SiO_2) apresenta na Peninsula Ibérica um valor médio de 47,53 mg/L, valor máximo de 63,31 mg/L e valor mínimo de 35,71mg/L, ambos registados em Trás-os-Montes.

A fácies predominante nas águas minerais é a bicarbonatada sódica, com excepção de Água Férrea das Eiras (Ref. 125) que é bicarbonatada calco-sódica. Estas águas mostram uma certa homogeneidade composicional e de mineralização, com excepção dos pontos de água: Filha da Facha (Ref. 124), Água Férrea das Eiras (Ref. 125), Termas das Caldeliñas (Ref. 128).

Assim para a caracterização hidrogeoquímica comparativa das águas minerais dos Açores e de Trás-os-Montes e Galiza consideraram-se apenas as águas bicarbonatadas sódicas existentes na ilha de São Miguel (massas de água, Furnas - Povoação e Água de Pau) e nas ilhas São Jorge e Flores que apresentam uma fácies hidrogeoquímica predominante igual à dos pontos de água de Trás-os-Montes e Galiza (Z.F.P.R.V, troço Chaves - Verín).

Entre as águas bicarbonatadas sódicas do arquipélago dos Açores, com base nos critérios de condutividade eléctrica e de pH, encontram-se como mais semelhantes às de Trás-os-Montes e Galiza, os seguintes pontos de água mineral: Quenturas I (Ref. 12), Quenturas III (Ref. 14), Torno (Ref. 17), Grutinha I (Ref. 18), Grutinha II (Ref. 19), Água da Poça (Ref. 20), Morangueira (Ref. 21), Banhos Férreos I balneário (Ref. 22), Banhos Férreos I nascente (Ref. 23), Banhos Férreos II (Ref. 24), Banhos Férreos III (Ref. 25), Banhos Férreos IV (Ref. 26), Água Férrea (Ref. 27), Ribeira Quente III (Ref. 49) e Água Azeda do Fogo (Ref. 50), todas pertencentes à ilha de São Miguel e ainda os pontos de água mineral das Flores, respectivamente Poio Moreno (Ref. 86) e Lajedo (Ref. 87).

Embora com valores de condutividade eléctrica e de pH, expressivamente mais baixos que os anteriores, mas tendo em conta o teor de CO_2 livre, seleccionaram-se os pontos de água mineral das Lombadas nascente (Ref. 60), Lombadas Furo I (Ref. 61), Lombadas Furo II (Ref. 62), Lombadas II (Ref. 64) e Lombadas "doce" (Ref. 63), todos pertencentes à massa de água, Água de Pau da ilha de São Miguel. Os quatro primeiros apresentam, tal como a nascente de Cabreiroá (Ref. 118), elevado teor de CO_2 livre, enquanto Lombadas "doce" (Ref. 63) tem, como Água Férrea das Eiras (Ref. 125), muito baixo teor de CO_2 livre.

As águas minerais bicarbonatadas sódicas do arquipélago dos Açores referenciadas anteriormente têm pH ligeiramente ácido, em média, um pouco inferior ao pH das águas de Trás-os-Montes e Galiza. A condutividade eléctrica embora elevada é, em média, inferior à condutividade eléctrica das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza, com excepção do ponto de água mineral Lombadas "doce" (Ref. 63) de condutividade eléctrica muito baixa, semelhante à de Água Férrea das Eiras (Ref. 125). Em relação à concentração de CO_2 livre observa-se que os pontos de água mineral dos Açores, anteriormente seleccionados apresentam, em média, um valor muito superior ao dos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza), com excepção de Cabreiroá (Ref. 118).

No que concerne ao parâmetro temperatura, os pontos de água mineral dos Açores, referidos anteriormente, apresentam uma temperatura superior, em média, à dos pontos de água mineral de Trás-os-Montes e Galiza, onde apenas se destacam com elevada temperatura os pontos do Pólo de Chaves. Relativamente aos elementos maiores, catiões verifica-se que embora os pontos de água mineral do arquipélago dos Açores, considerados para o estudo comparativo, apresentem um teor de Na^+ inferior, em média, ao de Trás-os-Montes e Galiza, os teores de K^+, Ca^{2+} e Mg^{2+} são, em média, superiores aos de Trás-os-Montes e Galiza. Quanto aos elementos maiores, aniões constata-se que o teor de HCO_3^- nas águas minerais dos Açores é notoriamente inferior, em média, ao das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza, o mesmo acontecendo com o teor de F^-. Entre os elementos menores e em traço escolheram-se como mais significativos para a caracterização hidrogeoquímica comparativa das águas minerais, o manganês (Mn), o alumínio (Al), o ferro (Fe), o bário (Ba) e o arsénio (As); os dois primeiros apresentam nos Açores, em média, valores superiores aos de Trás-os-Montes e Galiza, enquanto os três últimos registam em Trás-os-Montes e Galiza teores superiores, em média, aos determinados para os Açores.

O teor de SiO_2 das águas minerais dos Açores é expressivamente superior, em média, ao teor de SiO_2 das águas minerais de Trás-os-Montes e Galiza.

A importância socioeconómico das águas minerais do arquipélago dos Açores e a avaliação do seu potencial como recurso económico encerra a presente dissertação. Assim, após uma breve introdução sobre a utilização das águas minerais que remonta às mais antigas civilizações, atingindo com os Romanos a mais significativa expressão, e de uma referência especial à Termas Romanas na Lusitânia, é feita uma descrição das utilizações actuais das águas minerais, agrupadas em dois conjuntos, o primeiro dos quais, turismo termal ou turismo de saúde e bem - estar, é

um conceito mais alargado de termalismo terapêutico, porque embora centrado nas águas minerais e na sua aplicação tradicional, inclui a peloterapia e envolve outras valências, ligadas não só à saúde, ao desporto e à cultura, como às infra-estruturas, aos espaços públicos e ao turismo. O segundo conjunto de utilizações, a utilização industrial, engloba o engarrafamento de água mineral, a indústria dermocosmética e a geotermia, esta ligada à produção agrícola, piscicultura e sobretudo à produção de energia eléctrica.

Relativamente ao arquipélago dos Açores é feita uma resenha histórica das primeiras utilizações das águas minerais, a balneoterapia e o termalismo que se iniciaram no século XVI, no Vale das Furnas e evoluíram, a partir da segunda metade do século XIX, não só com o progresso do conhecimento das propriedades físico-químicas das águas minerais, associado à Análise Química, como à criação da especialidade médica de Hidrologia, nas Faculdades de Medicina. A solicitação da Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada, deslocaram-se aos Açores eminentes químicos e geólogos, de que se destacam, Fouqué (1872), Charles Lepierre (1912), Herculano de Carvalho e Luiz Acciaiuoli (décadas de 40 e 50 do século XX), a quem se devem obras fundamentais para o conhecimento das propriedades físico-químicas das águas minerais, com impacto na sua aplicação terapêutica. Embora praticamente até aos anos sessenta do século XX só fossem conhecidas análises de águas minerais da ilha de São Miguel, com excepção das de Carapacho (ilha Graciosa), informações sobre as emergências de água mineral, nas outras ilhas do arquipélago, constam na “Carta Geológica de Portugal” publicada pelos Serviços Geológicos, sob a forma de “Notícia Explicativa”. Mais recentemente, o conhecimento e sistematização de dados relativos às águas minerais dos Açores estão ligados à Universidade dos Açores, particularmente ao Departamento de Geociências e ao Centro de Vulcanologia de Avaliação de Riscos Geológicos (CVARG), de que se destaca a base de dados HYDROVULC.

A balneoterapia foi a primeira utilização das águas minerais dos Açores. As primeiras instalações balneares, muito toscas, estão referenciadas no final do século XVIII, no Vale das Furnas, mas nos séculos, XIX e XX, foram edificados numerosos estabelecimentos balneares, públicos e privados, não só no Vale das Furnas como na Ribeira Grande, Ferraria e Carapacho, os quais já neste século, foram objecto de ampliação e /ou reconstrução.

O engarrafamento de água mineral gasocarbónica, sempre concessionado, constituiu desde o início do século XX uma actividade importante, aliás mais lucrativa do que a balneoterapia. Foram conhecidas a “Água da Serra do Trigo”, a “Àgua

Helena", a "Água Alcântara", e as águas, "Lombadas", "Castelinhos" e "Ladeira Velha", merecendo referência especial a "Água das Lombadas" e "Água da Serra do Trigo", as quais atravessaram fronteiras e foram reconhecidas como das melhores águas de mesa. Actualmente só são engarrafadas, a "Água da Serra do Trigo", sob o nome "Magnificat" e "Gloria Patri".

A peloterapia, terapêutica pouco explorada no arquipélago dos Açores, mas de reconhecidas potencialidades, precisa de ser desenvolvida, sendo necessários mais estudos, das lamas associadas às emergências de água mineral.

A monitorização hidrogeoquímica das águas minerais, no âmbito da vigilância sismovulcânica, constitui também uma das utilizações dos recursos hidrominerais do arquipélago dos Açores. O C.V.A.R.G. desenvolveu um sistema de monitorização hidrogeoquímica para apoiar acções de protecção civil da região. Esse sistema inclui 13 pontos de água mineral, seis no Vulcão das Furnas e sete no Vulcão do Fogo, sendo registados quinzenalmente, os parâmetros físico-químicos (temperatura, condutividade eléctrica, pH, alcalinidade e CO_2 livre) e os teores, dos catiões (Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}) e dos aniões (Cl^-, SO_4^{2-}, $NO_3^-HCO_3^-$).

O aproveitamento da energia geotérmica na produção de energia eléctrica remonta ao início da segunda metade do século XX. As regiões, das Furnas e da Ribeira Grande foram os primeiros palcos de estudos e sondagens, mas as ilhas Terceira e Graciosa mereceram também a atenção do poder político (Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada, Direcção Geral de Combustíveis e Direcção Geral dos Serviços Geológicos). A obra, "As Possibilidades do Aproveitamento da Energia Geotérmica dos Açores", Zbyszewski, 1970, identifica as manifestações geotérmicas existentes nas ilhas do arquipélago dos Açores e aponta como zonas geotérmicas mais interessantes as relacionadas com os maciços vulcânicos de Serra da Água de Pau e das Furnas. Em 1973 foi feita uma sondagem profunda no Graben da Ribeira Grande, em colaboração com a Universidade Canadiana de Dalhousie. Em 1975, por iniciativa da Direcção Geral de Energia foi constituída a Comissão Nacional de Geotermia (CNG) que optou pela área da Ribeira Grande para a exploração geotérmica, tendo sido construída a Central Geotérmica do Pico Alto que arrancou com a produção de energia eléctrica em Setembro de 1980. Em 1994 começou a produzir energia eléctrica, outra central geotérmica, a Central Geotérmica da Lagoa do Fogo, e já neste século (XXI) foi construída a Central Geotérmica da Ilha Terceira.

A avaliação do potencial socioeconómico (PSE) das ilhas do arquipélago dos Açores, relativamente às águas minerais, baseou-se numa expressão matemática (pse

= ∑ 0,2 x critério I + ∑ 0,8 x critério II) que tem em conta a ponderação de dois critérios, um de coeficiente igual a 0,2 ligado indirectamente às águas minerais e outro de coeficiente igual a 0,8 relacionado directamente com a temática hidrogeológica. Os critérios abrangem 15 descritores, três para o primeiro critério e 12 para o segundo critério. A aplicação da referida expressão matemática determina para cada ilha do arquipélago dos Açores o respectivo potencial socioeconómico, o qual é traduzido por um valor inscrito na última linha de uma tabela onde figuram, na horizontal o nome das nove ilhas do arquipélago dos Açores e na vertical os 15 descritores. A cada descritor é atribuído um valor inteiro que pode variar de 0 a 1, de 0 a 3 ou de 0 a 4, constando das observações da tabela a explicação desses valores. A análise dos resultados obtidos indica que é a ilha de São Miguel a de maior potencial socioeconómico, à qual se seguem por ordem decrescente as ilhas, da Graciosa, do Faial, da Terceira, de São Jorge, do Pico e das Flores, as duas últimas com igual potencial socioeconómico no que respeita às águas minerais.

10 | BIBLIOGRAFIA

Abdel-Monen, A., Fernandez, L. & Boone, G., (1975) - K/Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands. Lithos 4, pp. 247-254.

Acciaiuoli, L.M.C. (1940) - Águas minerais do continente e ilha de S.Miguel. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 162 pp.

Acciaiuoli, L.M.C. & Narciso, A. (1941) - Inventário das águas medicinais da ilha de S.Miguel. Clínica, higiene e hidrologia, nº5. Editora Médica. Lisboa, pp. 133 - 143.

AHA - SRAM (2011) - Plano de gestão da região hidrográfica dos Açores - RH9. Relatório técnico. Versão para consulta pública. Ponta Delgada. Açores. Portugal.

Agostinho, J. (1936) - Tectónica, sismicidade, e vulcanismo das ilhas dos Açores, *Açoreana, Vol. I, 2, 87, 98.*

Aiuppa, A., Allard, P., D´Alessandro, W., Michel, A., Parello, F., Treuil, M. & Valenza, M. (2000) - Mobility and fluxes of major, minor and trace metals during basalt weathering and groundwater transport at Mt. Etna volcano (Sicily). Geochim. Cosmochim. Acta, 64, pp. 1827-1841.

Albuquerque, L.S.M. & Menezes, I.P.C. (1826) - Observação sobre a Ilha de S. Miguel recolhidas pela commissão enviada à mesma Ilha em Agosto de 1825, e regressada em Outubro do mesmo ano. Imp. Regia, LIsboa, 43 pp.

Allard, P., Jean-Baptiste, P., D´Alessandro, W., Parello, F., Parisi, B.& Flehoc, C. (1997) - Mantle-derived helium and carbon in groundwaters and gases of Mount Etna, Italy. Earth Planet. Sci. Lett., 148, pp. 501-516.

Aller, L., Bennett, T., Lehr, J.H., Perry, R. & Hackett, G. (1987) - DRASTIC. A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. EPA, Ada, 622 pp.

Almeida, A. & Almeida, J. (1970) - Inventário Hidrológico de Portugal. 2º Volume - Trás-os-Montes e Alto Douro. Instituto de Hidrologia de Lisboa. Laboratório de Química Hidrológica, Lisboa, 639 pp.

Almeida, C., Romariz, C. & Silva, M.O. (1984) – Hidroquímica da ilha da Madeira. Recursos Hídricos, 5, pp. 33-42.

Antanasopoulos, Nick (2001) - Flame methods manual for atomic absorption. GBC Scientific Equipment Pty Ltd. Victoria. Australia.38 pp.

Appelo CAJ, Postman D. (1993) - Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema. Rotterdam, 536 pp.

Assunção, C.T. & Canilho, M.H. (1969-1970) - Notas sobre a petrografia comparada das ilhas Atlânticas. Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências de Lisboa 11 (2): pp. 305-342.

Azevedo, J.M.M. (1998) - Geologia e Hidrogeologia da ilha das Flores (Açores - Portugal). Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, D.C.T., Universidade de Coimbra, Coimbra, 2 Vol., Coimbra, 403 pp.

Azevedo, J.M.M., Ferreira, M.R.P.V. & Martins, J.A. (1986) - O complexo de base da ilha das Flores, Açores. Memórias e Notícias, Publicação do Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra, 101: pp. 56-71.

Baptista, J. (1990) - Estudo neotectónico preliminar de um troço da linha de fractura Penacova - Régua - Verín (Peso da Régua Vila Pouca de Aguiar).Tese de equivalência a mestrado, Departamento de Geociências da Univ. de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 107 pp.

Baptista, J. (1998) - Estudo Neotectónico da Zona de Falha Penacova-Régua-Verin. Tese de Doutoramento. Secção de Geologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 344 pp.

Berthois, L. (1953) - Contribuition à l'étude lithologique de l'archipel des Açores. Com. Ser. Geol. Portugal, pp. 41-71.

Booth, B., Croasdale, R. & Walker, G.P.L. (1978) - A quantitative study of five thousand years of volcanism on São Miguel, Azores. Phil. Trans. R. Soc. Lond. 288: pp. 271-319.

Bullar, J. & Bullar, H. (1841) - A winter in the Azores and a summer at the baths of the Furnas. John Van Voorst, 2 vol., London, res, 765 pp.

Cabeças, R., Carvalho, J.M. & Nunes, J.C. (2010) - Portugal Country Geothermal Update 2010. Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 9 pp.

Cantista, P. (2009) - Termalismo, balneários termeis e turismo termal. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal – III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 11 - 12.

Carmo, R. (2004) - Geologia estrutural da Região da Povoação - Nordeste (Ilha de S. Miguel, Açores). Dissertação de Mestrado. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores, 121 pp.

Carmo, R., Ferreira, T., Gaspar, J.L. & Madeira, J. (2009) - Stress-fields at S. Miguel Island (Azores): first approach (Poster). 2009 AIV International Summer School of Volcanology, Nisyros, Grécia, 25 - 30 de Setembro.

Carvalho, A.H. (1955) - Estudos analíticos de águas termais da Ilha de São Miguel (Furnas e Ribeira Grande). Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 112 pp.

Carvalho, J.M. & Carvalho, M.R. (2004) - Recursos geotérmicos e seu aproveitamentoem Portugal. Caderno Lab. Xeolóxico de Laxe, Vol. 29. Coruña. pp. 97-117.

Carvalho, J. M., Silva, M. A. Vieira da, Rodrigues, B. C., Dias, A. G. & Cabeleira, M. M. (1995) - Vilarelho da Raia-um exemplo de prospecção e captação de água mineral gasocarbónica no Maciço Hespérico. In: *Memória* nº4, IV Congresso Nacional de Geologia (coord. F. Sodré Borges & M. M. Marques), Universidade do Porto Faculdade de Ciências Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, resumos alargados, pp. 439-444.

Carvalho, M.R.E. (1999) - Hidrogeologia do maciço vulcânico de Água de Pau/Fogo (São Miguel-Açores). Tese de Doutoramento no ramo da Geologia, especialidade de Hidrogeologia, Universidade de Lisboa, 445 pp.

Chang, R. (1994) - Química. McGraw-Hill de Portugal, Lda., 5º edição, Lisboa, 1117 pp.

Chovelon, P. (1982) - Évolution volcanotectonique des iles de Faial et de Pico, Archipel des Açores - Atlantique Nord “Volcanological and tectonic evolution of Pico and Faial islands, Azores archipelago - Atlantic North”. These présentée pour obtenir le titre de Docteur en Sciences, Université Paris-Sud, Paris, 193 pp.

Cole, PD, Queiroz, G, Wallenstein, N, Gaspar, JL, Guest, JE, (1995). An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, Azores. J. Volcanol. Geotherm. Res., 69, 117-135.

Cole, PD, Guest, JE, Queiroz, G, Wallenstein, N, Pacheco, JM, Gaspar, JL, Ferreira, T, Duncan, AM, (1999). Styles of volcanism and volcanic hazards on Furnas volcano, São Miguel, Azores. J. Volcanol. Geotherm. Res., 92, 39-53.

Costa, A., (2006) - Atlas hidrogeológico das águas minerais dos Açores. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre, Univ. Açores, Ponta Delgada, 190 pp.

Coutinho, R.M. (2000) - Elementos para a monitorização sismovulcânica da ilha do Faial (Açores): caracterização hidrogeológica e avaliação de anomalias de Rn associadas a zonas de desgaseificação. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 342 pp.

Coutinho, R., Antunes, P. & Freire, P. (2006) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - Terceira - Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 52 pp.

Coutinho, R., Antunes, P. & Freire, P. (2007) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - Graciosa – Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 17 pp.

Coutinho, R., Antunes, P. & Freire, P. (2007) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - Faial - Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 20 pp.

Coutinho, R., Antunes, P., Freire, P. (2008) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - Flores - Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 35 pp.

Coutinho, R., Antunes, P. & Freire, P. (2008) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - Pico - Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 36 pp.

Coutinho, R., Freire, P. & Antunes, P., (2008) - Perímetros de protecção às captações de água subterrânea - São Jorge - Relatório final. Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 38 pp.

Cruz, J.V. (1992) - Hidrogeologia da Ilha de Santa Maria. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada, Universidade de Lisboa, Lisboa, 239 pp.

Cruz, J.V. (1997) - Estudo hidrogeológico da Ilha do Pico (Açores – Portugal). Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, 2 vol., Ponta Delgada, 433 pp.

Cruz, J.V. (2001a) - Recursos Subterrâneos. Plano Regional da Água da RAA. Relatório Técnico-Científico 03/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, DG/UA, Ponta Delgada, 453 pp.

Cruz, J.V. (2001b) - Salinization of the Basal Aquifer System at Volcanic Islands: Azores Archipelago (Portugal) Case Study. In: Ribeiro, L. (Ed.), Proceedings 3th International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, CVRM-Geosystems Center, Lisbon, pp. 633-640.

Cruz, J.V. (2003) - Groundwater and volcanoes: examples from the Azores archipelago. Environmental Geology, 44, pp. 343-355.

Cruz, J.V. (2004) - Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. Ed. SRA, Ponta Delgada, 288 pp.

Cruz, J.V. & Silva, M.O. (2000) - Groundwater salinisation in Pico island (Azores, Portugal): origin and mechanisms. Environmental Geology, 39, pp. 1181-1189.

Cruz, J.V. & Goulart, C. (2001a) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho de Lagoa. Relatório Técnico-Científico 16/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 30 pp.

Cruz, J.V. & Goulart, C. (2001b) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho da Ribeira Grande. Relatório Técnico-Científico 17/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 39 pp.

Cruz, J.V. & Goulart, C. (2001c) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho de Vila Franca do campo. Relatório Técnico-Científico 18/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 16 pp.

Cruz, J.V. & Goulart, C. (2001d) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho da Povoação. Relatório Técnico-Científico 19/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 26 pp.

Cruz, J.V. & Amaral, C. (2004) - Major ion chemistry of groundwaters from perched-water bodies at Azores (Portugal) volcanic archipelago. Applied Geochemistry, 19, pp. 445 - 459.

Cruz, J.V. & França, Z. (2006) - Hydrogeochemistry of thermal and mineral springs of the Azores archipelago (Portugal). J. Volcanol. Geotherm. Res., 151, pp. 382-398.

Cruz, J.V. & Freire, P. (2011) - A Hidrópole. Nascentes Minerais. In: Aula do Risco Lda. (ed.), Na Boca do Vulcão, um guia de bolso para conhecer o vale das Furnas, SPRAçores, pp. 63-74.

Cruz, J.V., Silva, M.O. & Carvalho, M.R. (1992) - Hidrogeoquímica das águas subterrâneas da ilha de Santa Maria (Açores). Geolis, 6, pp. 121-135.

Cruz, J.V., Coutinho, R.M., Carvalho, M.R., Oskarsson, N. & Gislason, S.R. (1999) - Chemistry of waters from Furnas volcano, São Miguel, Azores: fluxes of volcanic carbon dioxide and leached material. J. Volcanol. Geotherm. Res., 92, pp. 151-167.

Cruz, J.V., França, Z. & Goulart, C. (2001) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Relatório preliminar. Relatório Técnico-Científico 08/DGUA/01, Centro de Geologia Ambiental, DG/UA, Ponta Delgada, 74 pp.

Cruz, J.V., Figueiredo, J. & Goulart, C. (2003a) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho de Nordeste. Relatório Técnico-Científico 05/DGUA/03, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 45 pp.

Cruz, J.V., Figueiredo, J. & Goulart, C. (2003b) - Definição de perímetros de protecção às captações de água subterrânea da ilha de São Miguel (Açores). Concelho de Ponta Delgada. Relatório Técnico-Científico 07/DGUA/03, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 37 pp.

Cruz, J.V., Pacheco, D., Cymbron, R. & Mendes, S. (2010a) - Monitoring of the groundwater chemical status in the Azores archipelago (Portugal) in the context of the EU Water Framework Directive. Environmental Earth Sciences, 61, pp. 173-186.

Cruz, J.V., Coutinho, R., Pacheco, D., Cymbron, R., Antunes, P., Antune, P., Freire, P, Mendes, S., Fontiela, J. & Anglade, J. (2010b) - Groundwater salinization in the Azores archipelago (Portugal): an overview. In: Condesso de Melo, T., Lebbe, L., Cruz, J.V., Coutinho, R., Langevin, C e Buxo, A. (eds), Proceedings SWIM 21 – 21st Salt Water Intrusion Meeting, Ponta Delgada, pp. 109-112.

Cruz, J. V., Freire, P. & Costa, A. (2010) - Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). Journal of Volcanology and Geothermal Research.VOLGEO-04461; 12 p.

Custodio, E. (1989) - Groundwater characteristics and problems in volcanic rock terrains. In: Isotopic techniques in the study of the hydrology of fractures and fissured rocks, IAEA, Vienna, pp. 87-137.

Custodio, E. & Lamas, M. R. (1983) - Hidrología Subterránea. Omega S. A., 2ª ed., 2 Vol. Barcelona., 2350 pp.

Dionex Corporation (2003) - ICS-1000 ion chromatography system operator's manual. Sunnyvale. California. U.S.A. 210 pp.

Drever JI - (1997) The geochemistry of natural waters. surface and groundwater environments. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 436 pp.

DROTRH (2006) - Relatório síntese de caracterização da Região Hidrográfica, Arquipélago dos Açores, Portugal. DROTRH, Ponta Delgada, 91 pp.

Feraud, G., Kaneoka, J. & Allegre, C. (1980) - K/Ar ages and stress pattern in the Azores: Geodynamic implications. Earth Planet. Sci. Letters, 46, pp. 275-286.

Fernandes, N.M. (1977) - Geochimie de l´ile de São Jorge. Memoire presenté a la Faculté des Sciences de l´Université de Montreal, Maitrise es Sciences (Geologie), 183 pp.

Fernandez, L. A. (1980) - Geology and petrology of the Nordeste volcanic complex, São Miguel, Azores: Summary. Geological Society of America Bulletin, 91, 675-680.

Ferreira, A. (1968) - Ilha Graciosa. Ed. Livros Horizonte, Colecção Espaço e Sociedade, Lisboa, 166 p.

Ferreira, T. (2000) - Caracterização da actividade vulcânica da Ilha de S. Miguel (Açores): Vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 247pp.

Forjaz, V.H. (1984) - S.Miguel volcanostratigraphic sketch. Dep.Geociências, Univ. Açores, Ponta Delgada, 1 pp.

Forjaz, V.H. (1991) - Notas Sobre o Projecto Geotérmico de S. Miguel. Sogeo,S.A., Ponta Delgada, 12 pp.

Forjaz, V.H. & Fernandes, N.S.M. (1970) - Folha “B” da ilha de S. Jorge (Açores) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000. Serv. Geol. Portugal.

Forjaz, V.H. & Fernandes, N.S.M. (1976) - Carta Geológica de Portugal; notícia explicativa das folhas “A” e “B” da ilha de S. Jorge (Açores). Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 32 pp.

Forjaz, V.H. Monjardino, J. & Fernandes, N.S.M. (1970) - Folha “A” da ilha de S. Jorge (Açores) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000. Serv. Geol. Portugal.

Forjaz, V.H., Serralheiro, A. & Nunes, J.C. (1990) - Carta vulcanológica dos Açores à escala 1/200000; Grupo Central. U.A./CV/INIC-DGUA-SRPC, Ponta Delgada, 1 folha.

Fouqué, F. & Cabral, P. C. M. (1873) - Les eaux thermales de l´île de San-Miguel (Açores), Portugal. Lallemant Fréres Imprimeurs, Lisboa, 150 pp.

França, Z. (1993) - Contribuição para o estudo dos xenólitos sieníticos do Arquipélago dos Açores, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade dos Açores, 216 pp.

França, Z. (2000) - Origem e evolução petrológica e geoquímica do vulcanismo da ilha do Pico, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 372 pp.

França, Z., Nunes, J.C., Cruz, J.V., Duarte, J.F & Forjaz, V.H. (2002) - Estudo preliminar do vulcanismo da ilha do Corvo, Açores. In: Garcia, F.G. & Valero, J.L.B. (Eds.),

Proceedings 3ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica, Tomo II, Editorial UPV, Valência: pp. 727-730.

França, Z., Cruz, J.V. Nunes, J.C. & Forjaz, V.H. (2003) - Geologia dos Açores: uma perspectiva actual. Açoreana Vol.10, nº1, pp 11-140.

Franco, A.F. (1630) - Relaçam do lastimoso e horrendo caso qve aconteceu na Ilha de S. Miguel em segunda feira dous de Setembro de 1630. Pedro Craesbeeck, Lisboa, 3 pp.

Freire, P. (2006) – Águas Minerais e Termais da ilha de São Miguel (Açores): Caracterização hidrogeológica e implicações para a monitorização vulcanológica. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores. 173 pp.

Freire, P., Costa, A. & Cruz, J.V. (2008) – A base de dados hidrogeológica HYDROVULC. Actas (em CD ROM) do V Seminário "Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território", UTAD, Vila Real, 209-211.

Freire, P., Costa, A., Cruz, J.V., Coutinho, R. & Antunes, P. (2009) - Recursos Hidrominerais dos Açores: Contribuição para uma História de Conhecimento. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal – III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 207- 218.

Freire, P., J.V. Cruz, R. Coutinho, P. Antunes e J. Fontiela (2010) - Monitorização hidrogeoquímica de águas minerais da ilha de São Miguel (Açores): 1990 – 2009. Memórias nº 14, Actas do XV Congresso de Países de Língua Portuguesa – XVI Semana de geoquímica, FCUP, Porto, pp.1135-1144.

Freire, P., Melo, A., Coutinho, R., Cruz, J.V. (2011) -- Águas minerais da ilha de São Miguel (Açores): monitorização hidrogeoquímica entre 1990 e 2011. Livro de actas do VI Seminário "Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território", UTAD, Vila Real, 107-114.

Freire-Grav. (1904) - Água Carbo-Gazosa das Lombadas: Ilha de S. Miguel. Imprensa Freire-Grav., Lisboa, 10 pp.

Gaspar, J.L. (1995) - Breve nota sobre as principais estruturas tectónicas da ilha Graciosa. Açoreana, VIII(1), pp. 139-142.

Gaspar, J.L. (1996) - Ilha Graciosa (Açores). História vulcanológica e avaliação do hazard. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 256 pp.

Gaspar, J.L. & Queiroz, G. (1995) - Carta vulcanológica dos Açores, ilha Graciosa, Folhas "A" e "B" na escala 1:10000. Ed. UA-CV/UA-C.MSCG, Ponta Delgada, 2 folhas.

Gaspar, J.L., Queiroz, G., Almeida, M.H., França, Z., & Rodrigues, B. (1990) - Aplicação de diagramas de discriminação tectonomagmática a rochas do arquipélago dos Açores. *(In:* Resumos das comunicações. VIII Semana de Geoquímica. Lisboa, 45 pp.

Gaspar, J.L., Queiroz, G. & Ferreira, T. (1999) - Sinopse sobre o enquadramento geoestrutural dos Açores, Centro de Vulcanologia.

Gaspar, J.L., Queiroz, G., Pacheco, J.M., Ferreira, T., Wallenstein, N., Almeida, M.H. & Coutinho, R. (2003) - Basaltic lava ballons produced during the 1998-2001 Serreta Submarine Ridge eruption (Azores). In: White, J.D.L., Smellie, J.L. e Clague, D.A. (Eds.) Explosive Subaqueous Volcanism, Geophysical Monograph 140, AGU, Washington D.C., 379 pp.

Giggenbach, W.F. (1992) - Isotopic shift in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin. Earth Planet. Sci. Lett., 113, pp. 495-510.

Gíslason, S. & Eugster, H.P. (1987) - Meteoric water-basalt interactions. II: A field study in N.E. Iceland. Geochim. Cosmochim. Acta, 51, pp. 2841-2855.

Gíslason, S. & Arnórsson, S. (1993) - Dissolution of primary basaltic minerals in natural waters: saturation state and kinetics. Chemical Geology, 105, pp. 117-135.

Gíslason, S., Arnórsson, S. & Ármannsson, Á. (1996) - Chemical weathering of basalt in southwest Iceland: effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. Amer. J. Science, 296, pp. 837-907.

Gjerde, D.T. & Fritz, J.S. (1987) - Ion Chromatography. Huthig. Heidelberg. 283 pp.

Gomes, C.S.F. & Silva, J:B.P. (2009) - Pelóides: tipologia, propriedades, preparação e funções. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro

Internacional de Termalismo e Turismo Termal – III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 219 - 230.

Gonçalves, M.S.S. (1983) - Métodos instrumentais para análise de soluções. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. pp. 83-137.

Gourlay, G. (1791) - Aguas mineraes da ilha de S.Miguel. In: Arquivo dos Açores, Inst. Cultural de Ponta Delgada, Vol. VIII, Ponta Delgada, 1982, pp. 447-453.

Grade, J. & Moura, A. C. (1982) - Bacia de Chaves. Estudo prospectivo dos seus corpos argilosos. *Geonovas*, Lisboa, No. 3, pp. 79-84.

Guest, J.E., Gaspar, J.L., Cole, P.D., Queiroz, G., Duncan, A.M., Wallenstein, N., Ferreira, T. & Pacheco, J.M. (1999) - Volcanic geology of Furnas volcano, São Miguel, Azores. Journal of Volcanol. and Geotherm. Res. pp. 92: 1-29.

Jáuregui Arbizu, B., Munoz, J., Navarro, C. & Soret, A. (2009) - El agua e su envase: nuevos materiales de origen reciclado. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal – III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 253 - 259.

Join, J.-L, Coudray, J. & Longworth., K. (1997) - Using principal components analysis and Na/Cl ratios to trace groundwater circulation in a volcanic island: the example of Reunion. J. Hydrology, 190, pp. 1-18.

Kehew, Alan E. (2001) - Applied chemical hydrogeology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 368 pp.

Lapa, V. Joukes (2009) - Sistematización de los usos dados a las aguas minerales naturales. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal – III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 261 - 272.

Langmuir D. (1997) - Aqueous environmental geochemistry. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 600 pp.

Lepierre, C. (1917) - Análise química das águas minero-medicinais do Vale das Furnas. Ilha de S.Miguel (Açores). Laboratório de Química Analytica, IST, Lisboa, 144 pp.

Louvat, P. (1997) - Étude géochimique de l´érosion fluviale d´îles volcaniques à l´aide des bilans d´éléments majeurs et traces. PhD Dissertation, IPGP, Paris, 322 pp.

Lloyd. E.F. & Collis, S.K. (1981) - Geothermal Prospection - Ilha Terceira, Azores. Secretaria Regional do Comércio e Industria. Laboratório de Geociências e Tecnologia. Ponta Delgada, Não publicado, 96 pp.

McGraw, PA, (1976). A petrological/geochemical study of rocks from Sao Miguel, Azores, Portugal. M.Sc. Thesis, Dalhouise University, 85 p.

Machado, F. (1959) - Submarine pits of the Azores plateau. Bulletin of Volcanology, 21: pp. 109-116.

Machado, F. & Forjaz, V.H. (1968) - A actividadevulcânica na ilha do Faial (1957-67). Edição da Comissão de turismo da Horta. 89 pp.

Machado, João M. G. Saavedra (2009) - Ocorrências Hidrominerais do NE de Portugal Continental: Inventariação, Sistematização e Aproveitamentos Didácticos. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Geologia. Departamento de Geologia. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 543 pp.

Madeira, J. (1991a) - Neotectónica dos Açores: I - O sistema Pico-Faial (Abstract). III Congresso Nacional de Geologia, Coimbra, pp. 51.

Madeira, J. (1991b) - Neotectónica dos Açores: II - S. Jorge e o sismo de 1/!/80. (Abstract). III Congresso Nacional de Geologia, Coimbra, pp.52.

Madeira, J. (1998) - Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade em Geodinâmica Interna. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 428 pp.

Madeira, J. (2005) - The volcanoes of Azores Islands: A world-class heritage. Examples from Terceira, Pico and Faial Islands. In: IV International symposium ProGEO on the conservation of the geological heritage - Field trip guide book, Universidade do Minho, Braga, 104 pp.

Madeira, J. & Ribeiro, A. (1990) - Geodinamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. Tectonophysics, pp. 184, 405-415.

Mangorrinha, J. (2009) - A qualidade do território turístico termal: do ordenamento à arquitectura. In: J.C. Nunes, J.M. Carvalho, R.F. Rubio (Eds.), Livro de Resumos, Encontro Internacional de Termalismo e Turismo Termal - III Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo, Furnas (Açores), pp. 13 - 21.

Maund, J. (1985) - The volcanic Geology, Petrology and Geochemistry of Caldeira Volcano, Graciosa, Azores, and its bearing contemporaneous felsic-mafic oceanic island volcanism. Ph´D Thesis, University of Reading, 333 pp.

Moniz, A.B.C. (1883) - ilha Graciosa - Descripção Histórica e Topographica. Angra do Heroísmo, 297 pp.

Monot, T. H., & Varet, J. (1976) - Découverte d'enclaves de syenites quarzifères et autres roches plutoniques associés dans l'île de Flores, Açores. Bulletin de la Societé Geologique de France, XVIII, 6, pp.1625 -1630.

Moore, R.B. (1983) - Preliminary geologic map of Sete Cidades volcano, São Miguel, Azores. U.S. Geol. Survey, Open File Report 83-742.

Moore, R.B. (1990) - Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. Bull. Volcanol. 52: pp. 602-614.

Moore, R.B. (1991a) - Geologic map of São Miguel, Azores. U.S. Geol. Surv. Misc. Invest. Ser. Map I-2007, scale 1:50000, 1 folha, U.S. Geological Survey, Denver.

Moore, R.B. (1991b) - Geology of three late Quaternary stratovolcanoes on São Miguel, Azores. USGS Bulletin 1900, pp 46, U.S. Geological Survey, Denver.

Mourisseau, M. (1987) - Les eruptions hydromagmatiques et les xenolites associes: signification geothermique. Exemples de Flores et de Faial (Açores). These présentée pour obtenir le titre de Docteur en Sciences, Université de Paris XI, Orsay, 493 pp.

Muecke G.K., Ade-Hall J.M., Aumento F., MacDonald A., Reynolds P.H., Hyndman R.D., Quintino J., Opdyke N., Lowrie W. (1974) - Deep drilling in an active geothermal area in the Azores. Nature 252, 281-285.

Needham, H. & Francheteau, J. (1974) - Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36°48' north. Earth and Planet . Sci. Lett. 22: pp. 29-43.

Nordstrom DK, McCleskey RB, Ball JW. (2009) - Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-sulfate waters. App Geochem 2009;24:191-207.

Nunes, J.C. (1999) - A actividade vulcânica na ilha do Pico do plistocénico superior ao holocénico: mecanismo eruptivo e hazard vulcânico. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 357 pp.

Nunes, J.C. (2000) - Notas sobre a geologia da Terceira. Açoreana 9: pp. 205-215.

Nunes, J.C., França, Z, Cruz, J.V., Carvalho, M.R. & Serralheiro, A. (1999a) - Carta vulcanológica da ilha do Pico (Açores) - Versão preliminar. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Nunes, J.C., França, Z, Cruz, J.V., Carvalho, M.R. & Serralheiro, A. (1999b) - Carta Morfotectónica da ilha do Pico (Açores) - Versão preliminar. Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.

Pacheco, J.M., (1995). Caracterização do depósito vulcânico Furnas-C e seu contributo para a análise do hazard associado à actividade do vulcão das Furnas. PPCI Thesis, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 128 p. (in Portuguese with English abstract)

Pacheco, J.M. (2001) - Processos associados ao desenvolvimento de erupções vulcânicas hidromagmáticas explosivas na ilha do Faial e sua interpretação numa perspectiva de avaliação do *Hazard* e minimização do risco. Tese de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, Departamento de Geociências, 330 pp.

Pacheco J M, Ferreira T., Queiroz G., Wallenstein N., Coutinho R., Cruz J.V., Pimentel A., Silva R., Gaspar J.L., & Goulart C. (2013) - Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores. In: Dias R, Araújo A, Terrinha P, Kullberg JC (eds), Geologia de Portugal, Escolar Editora, Lisboa, 595-690.

Parkhurst, D.L. & Appelo, C.A.J., 1999. User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, reaction-path, 1D-transport, and inverse geochemical calculations. US Geol. Surv. Water Resour. Inv. Rep. 99-4259, 312 pp.

Pereira, L.S.F. (2000) - Hidrogeologia da ilha de São Jorge: uma primeira abordagem. Rel. Estágio, Licenciatura em Geologia do Ambiente, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 51 pp.

Pimentel, A. (2006) - Domos e Coulées da ilha Terceira (Açores): Contribuição para o estudo dos mecanismos de instalação. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 143 pp.

PROCESL-ECOSERVIÇOS-PROSPECTIVA (2005) - Estudo de Concepção Geral do Sistema Integrado de Abastecimento de Água e SAR da Região Autónoma dos Açores - Sub-Fase 1.1 - Estudo de Base - Volume V - Ilha Graciosa, Ponta Delgada, 38 pp.

Queiroz, G. (1997) - Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores): história eruptiva e avaliação do hazard. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 226 pp.

Queiroz, G., Gaspar, J.L., Cole, P.D., Guest, J.E., Wallenstein, N., Duncan, A.M. & Pacheco, J.M. (1995) - Erupções vulcânicas no vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do Séc. XV. Açoreana 8(1): pp. 159-168.

Queiroz, G., Gaspar, J.L., Madeira, J. & Alves, P. (2001) - EIA - Projecto geotérmico da ilha Terceira. Análise do risco sísmico. DTC 04/CVARG/01. Universidade dos Açores, 20 pp.

Ramos, A.C.C.V. (2003) - Termalismo/ turismo termal - contextos, impactes e potencialidades. Investigação em turismo. Lisboa: Instituto de Financiamento e Apoio ao Turismo. pp 295 - 309.

Ribeiro, A., Antunes, M. T., Ferreira, M. P., Rocha, R. B., Soares, A. F., Zbyszewskig, G., Moitinho de Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J. H. (1979) - Introduction `a la Geólogie Générale du Portugal. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 114 pp.

Riche, A. & Bardy, C. (1888) - Agua mineral das Lombadas (ilha de São Miguel, Açores). Typ. Popular, Ponta Delgada, 9 pp.

Rodrigues, B., Forjaz, V.H. & Gaspar, J.L. (1989) - Preliminary note on the geochemical evolution of volcanism in S. Miguel Island, (Azores). Doc. CV/INIC. 07/87, Universidade dos Açores, 16 pp.

Rodrigues, F.C. (1992) - Hidrogeologia da ilha Terceira. Contributo para o seu conhecimento. Provas de A.P.C.C., Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 139 pp.

Rodrigues, F.C. (2002) - Hidrogeologia da ilha Terceira (Açores – Portugal). Contributo para o seu conhecimento. Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia do Ambiente, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 418 pp.

Schilling, J.G. (1975) - Azores mantle blob: rare-earth evidence. Earth Planet. Sci. Lett., 25, pp. 103-115.

Searle, R. (1980) - Tectonics pattern of the Azores spreading centre and triple junction. Earth and Planet. Sci. Lett. 51:pp. 415-434.

Self, S. (1974) - Recent volcanism on Terceira, Azores. PhD Thesis, London University, Imperial College, 236 pp.

Self, S. (1976) - The recent Volcanology of Terceira, Azores. *J.Geol. Soc. London*,132, pp. 645-666.

Serralheiro, A., Matos Alves, C.A., Forjaz, V.H. & Rodrigues, B. (1987) - Carta vulcanológica dos Açores na escala 1/15000; Ilha de Santa Maria. CV/INIC-DGUA-SRPCA, Ponta Delgada, 2 folhas.

Serralheiro, A., Matos Alves, C.A.; Forjaz, V.H. & Rodrigues, B. (1989) - Carta Vulcanológica dos Açores – Ilha do Faial. Edição do Serviço Regional de Protecção Civil, Universidade dos Açores e Centro de Vulcanologia do INIC, 4 folhas na escala 1:15.000.

Silva, M.O. (1988) - Hidrogeologia da ilha da Madeira. Geolis, 2, pp. 96-102.

Silva, M. (2005) - Caracterização da sismicidade histórica dos Açores com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do risco sísmico nas ilhas do Grupo Central. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 146 pp.

Silveira, D. (2002) - Caracterização da sismicidade histórica da ilha de S. Miguel com base na reinterpretação de dados de macrossísmica: contribuição para a avaliação do

risco sísmico. Dissertação de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores, 149 pp.

SIVISA (2006) - Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2006.

Sousa Oliveira, A. & Baptista, J. (2002) - Geologia, Tectónica, Geomorfologia e Recursos Hidrominerais da Zona de Falha Penacova-Régua-Verin. Livro-Guia, Vila Real, 49 pp.

Tazieff, H. (1959) - L'éruption de 1957-1958 et la tectonique de Faial (Açores). Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, 4, pp. 71-88.

TAC (1922) - Serra do Trigo. Typ. Do Annuario Commercial. Lisboa, 15 pp.

Tavares, F. (1810) - Instrucções e cautelas praticas - parte I. Real Imprensa da Universidade, Coimbra, 359 pp.

Teixeira, C. & Assunção, C. Torre de (1970) - Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50 000-2-D e Notícia Explicativa da Folha 2-D (Vilar de Perdizes). Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Indústria, Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 13 pp.

Teixeira, C., Pais, J. & Rocha, R. (1979) - Quadros de Unidades Estratigráficas e da Estratigrafia Portuguesa. Instituto Nacional de investigação Científica, Lisboa, 31 pp.

Teixeira, C., Assunção, C. T. & Coelho, A. V. P. (1974) - Carta Geológica de Portugal. Notícia explicativa da folha 6-B (Chaves). *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 35 pp.

Terroso, D.L.G.F. (2005) - Argilas/Lamas e águas termais das Furnas (Açores): avaliação das propriedades físicas e químicas relevantes para a utilização em Peloterapia. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Minerais e Rochas Industriais, Universidade de Aveiro, 99 pp.

TIP (1893) - Água Carbo-Gazosa das Lombadas Ilha de S. Miguel (Açores). Typographia Industrial Portugueza, Lisboa, 14 pp.

Varekamp JC, Ouimette AP, Herman SW, Flynn KS, Bermudez A, Delpino D. (2009) - Naturally acid waters from Copahue volcano, Argentina. App Geochem 2009;24:208-20.

Wallenstein, N. (1999) - Estudo da História recente e do comportamento eruptiva do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação Preliminar do Hazard. Dissertação de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Departamento de Geociências, Universidade dos Açores. 266 pp.

Wallenstein, N, Duncan, A, Chester, D, Marques, R. (2007) - Fogo Volcano (São Miguel, Azores): a hazardous edifice. Géomorphologie : relief, processus, environnement, 2007, n°3, p. 259-270.

Weijden, C.H. & Pacheco, F.A.L. (2003) – Hydrogeochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island. Journal of Hydrology, 283, pp. 122-145.

Weston, F.S. (1964) - List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports. Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências de Lisboa 10(1): pp. 3-18.

White, W.M., Tapia, M. & Schilling, J.G. (1979) - The petrology and geochemistry of the Azores Islands. Contrib. Mineral. Petrol. 69: pp. 201-213.

Wood, W.W. & Fernandez, L.A. (1988) - Volcanic rocks. In: Back, W., Rosenshein, J.S. & Seaber, P.R. (Eds.), Hydrogeology, The Geology of North America, Vol. O-2, Geol. Soc. America, Boulder, pp. 353-365 (chapter 39).

Zbyszewski, G. (1968) - Levantamentos geológicos da ilha Terceira (Açores). Mem. da Academia das Ciências de Lisboa, Classe de Ciências, T. XII, pp. 185-199.

Zbyszewski, G. (1970) - As possibilidades de aproveitamento da energia geotérmica nos Açores. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 15 pp.

Zbyszweski, G. (1970) - Levantamento geológico da ilha Graciosa (Açores). Memórias da Academia das Ciências, t. XIV, pp. 163-171.

Zbyszewski, G. & Ferreira, O. Veiga (1959) - Rapport de la deuxième mission géologique. Memórias dos Serviços Geológicos de Portugal, 4, pp. 29-55.

Zbyszewski, G., F.M. D'Almeida, O.V. Ferreira & C.T. Assunção (1958) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000; Notícia explicativa da folha B da ilha de S. Miguel (Açores): 37pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Zbyszewski, G., O.V. Ferreira & C.T. Assunção (1959) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:50.000; Notícia explicativa da folha “A” da ilha de S. Miguel (Açores): 22 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Zbyszewski, G., Almeidsa, F. Moitinho; Ferreira, O Veiga & Assunção C. Torre (1959) - Carta Geológica de Portugal na escala 1:25 000, folha do Faial. Serviços Geológicos de Portugal, 25 pp.

Zbyszewski, G., Ferreira, C.R. & Ferreira, O.V. (1962) - Étude géologique de l´île de Pico (Açores). Comun. Serv. Geol. Port., 44, pp. 5-34.

Zbyszewski, G., Ferreira, C.R., Ferreira, O.V. & Assunção, C.T. (1963a) - Carta Geológica de Portugal; notícia explicativa da folha “A” da ilha do Pico (Açores). Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 20 pp.

Zbyszewski, G., Ferreira, C.R., Ferreira, O.V. & Assunção, C.T. (1963b) - Carta Geológica de Portugal; notícia explicativa da folha “B” da ilha do Pico (Açores). Serv. Geol. Portugal, Lisboa, 20 pp.

Zbyszweski, G., Medeiros, A.C., Ferreira O.V., & Assunção, C.T. (1968) - Carta Geológica de Portugal na escala de 1:25.000. Notícia explicativa da folha da ilha das Flores. Serv. Geol. Portugal, Lisboa. 31 pp.

Zbyszewski, G., Medeiros, A.C., Ferreira, O.V. & Assunção, C.T. (1971) - Carta geológica de Portugal, na escala de 1/50 000. Notícia explicativa da folha da ilha Terceira. Serv. Geol. de Portugal, 43 pp.

Zbyszweski, G., Medeiros, A., Ferreira, O. & Torre de Assunção, C. (1972) - Carta Geológica de Portugal na escala 1/25000. Notícia explicativa da folha Ilha Graciosa (Açores). Serv. Geol. Portugal, 31 pp.

ANEXO(S) - A

ANEXO I – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES, DE TRÁS-OS-MONTES E GALIZA (LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA)

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84		Ilha	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
		M	P	Região			
1	Miguel Henriques	649362	4182018	SMG	Povoação	Furnas	1
2	Água Prata	649365	4182020	SMG	Povoação	Furnas	1
3	Caldeirão	649410	4182025	SMG	Povoação	Furnas	1
4	Água Azeda	649452	4182034	SMG	Povoação	Furnas	1
5	Água Azeda Rebentão	649418	4182035	SMG	Povoação	Furnas	1
6	Água do Rego	649487	4182046	SMG	Povoação	Furnas	1
7	Terra Nostra I	647928	4181587	SMG	Povoação	Furnas	1
8	Terra Nostra II	647936	4181570	SMG	Povoação	Furnas	1
9	Terra Nostra III	647928	4181587	SMG	Povoação	Furnas	1
10	Caldeira Grande	649349	4181933	SMG	Povoação	Furnas	1
11	Caldeira Asmodeu	649383	4181951	SMG	Povoação	Furnas	1
12	Quenturas I	649307	4181753	SMG	Povoação	Furnas	1
13	Quenturas II	649307	4181752	SMG	Povoação	Furnas	1
14	Quenturas III	649307	4181752	SMG	Povoação	Furnas	1
15	Caldeira Lagoa Furnas	646908	4181504	SMG	Povoação	Furnas	1
16	Gloria Patri	648459	4182391	SMG	Povoação	Furnas	1
17	Torno	649238	4181701	SMG	Povoação	Furnas	1
18	Grutinha I	649255	4181710	SMG	Povoação	Furnas	1
19	Grutinha II	649247	4181706	SMG	Povoação	Furnas	1
20	Água Poça	649104	4181733	SMG	Povoação	Furnas	1
21	Morangueira	649128	4181702	SMG	Povoação	Furnas	1
22	Banhos Férreos I Balneário	648688	4181936	SMG	Povoação	Furnas	1
23	Banhos Férreos I Nascente	648695	4181941	SMG	Povoação	Furnas	1
24	Banhos Férreos II	648696	4181937	SMG	Povoação	Furnas	1
25	Banhos Férreos III	648697	4181935	SMG	Povoação	Furnas	1
26	Banhos Férreos IV	648697	4181933	SMG	Povoação	Furnas	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84 M	P	Ilha Região	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
27	Água Férrea	649303	4181753	SMG	Povoação	Furnas	1
28	Ponte	649347	4182012	SMG	Povoação	Furnas	1
29	Água da Helena	648705	4182278	SMG	Povoação	Furnas	1
30	Valério I	648270	4181778	SMG	Povoação	Furnas	1
31	Valério II	648275	4181794	SMG	Povoação	Furnas	1
32	Dr. Bruno	648674	4181950	SMG	Povoação	Furnas	1
33	Sanguinhal	647876	4181239	SMG	Povoação	Furnas	1
34	Serra do Trigo	650175	4182086	SMG	Povoação	Furnas	1
35	Padre José	649344	4181882	SMG	Povoação	Furnas	1
36	Caldeira do Esguicho	649410	4182022	SMG	Povoação	Furnas	1
37	Água Santa	649417	4182022	SMG	Povoação	Furnas	1
38	Dr. Diniz	649415	4182031	SMG	Povoação	Furnas	1
39	Tio José Sousa	649459	4182046	SMG	Povoação	Furnas	1
40	Caldeira dos Vimes	649462	4182031	SMG	Povoação	Furnas	1
41	Caldeira dos Tambores	649388	4181933	SMG	Povoação	Furnas	1
42	Banhos dos Cabaços	647873	4181685	SMG	Povoação	Furnas	2
43	Caldeira dos Inhames	649459	4182031	SMG	Povoação	Furnas	1
44	Água da Nora	649199	4181638	SMG	Povoação	Furnas	1
45	Camarça	648589	4182131	SMG	Povoação	Furnas	1
46	Caldeiras Barrentas	649349	4181933	SMG	Povoação	Furnas	1
47	Ribeira Quente I	649316	4178485	SMG	Povoação	Ribeira Quente	3b
48	Ribeira Quente II	649252	4178493	SMG	Povoação	Ribeira Quente	1
49	Ribeira Quente III	649217	4178559	SMG	Povoação	Ribeira Quente	1
50	Azeda Ribeira Fogo	648749	4177510	SMG	Povoação	Ribeira Quente	1
51	Água Alcântara	650421	4181988	SMG	Povoação	Furnas	1
52	Água Azeda da Povoação	653266	4183183	SMG	Povoação	Povoação	3b

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84 M	P	Ilha Região	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
53	Porto Formoso I	636675	4187280	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	3a
54	Porto Formoso II	636852	4187011	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
55	Porto Formoso III	637184	4187309	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
56	Porto Formoso IV	636852	4187001	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
57	Ladeira Velha	635766	4187298	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
58	Ladeira Velha Férrea	635789	4187290	SMG	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
59	Ribeira das Gramas	633764	4185782	SMG	Ribeira Grande	Ribeirinha	1
60	Lombadas	635560	4182116	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
61	Lombadas Furo I	635579	4182124	SMG	Ribeira Grande	Matriz	3a
62	Lombadas Furo II	635564	4182177	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
63	Lombadas "Doce "	635610	4182054	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
64	Lombadas II	635718	4181997	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
65	Fumarola R.G.	633213	4184476	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
66	Caldeira Grande R.G.	633200	4184460	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
67	Caldeira Pequena R.G.	633186	4184464	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
68	Pocinha	632950	4184670	SMG	Ribeira Grande	Matriz	1
69	Caldeira Velha Nascente	632123	4182543	SMG	Ribeira Grande	Ribeira Seca	1
70	Caldeira Velha Fumarola	632051	4182678	SMG	Ribeira Grande	Ribeira Seca	1
71	Magarça	632181	4184467	SMG	Ribeira Grande	Conceição	1
72	Pico Alto	633788	4184394	SMG	Ribeira Grande	Ribeirinha	3b
73	Monte Gordo	633875	4185040	SMG	Ribeira Grande	Ribeirinha	4
74	FC1_Vieira e Vieira	630844	4187518	SMG	Ribeira Grande	Matriz	3a
75	FC2_Bel Portugal	631184	4187370	SMG	Ribeira Grande	Matriz	5a
76	FC3_Agro Vieiras	631746	4185902	SMG	Ribeira Grande	Matriz	3a
77	FC4_Insulac	629709	4185461	SMG	Ribeira Grande	Conceição	3a
78	FC6_ Monte dos Frades	632330	4186343	SMG	Ribeira Grande	Matriz	3a

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84 M	P	Ilha Região	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
79	Azeda dos Castelinhos	635395	4177160	SMG	Vila Franca Campo	Água D' Alto	6
80	Ferraria I	600925	4170704	SMG	Ponta Delgada	Ginetes	7
81	Ferraria II	600927	4190708	SMG	Ponta Delgada	Ginetes	1
82	Ferraria III (AC2)	600954	4190922	SMG	Ponta Delgada	Ginetes	5b
83	Ferraria IV (AC3)	600981	4190917	SMG	Ponta Delgada	Ginetes	1
84	Mosteiros	603404	4193822	SMG	Ponta Delgada	Mosteiros	1
85	São Lázaro	603411	4193842	SMG	Ponta Delgada	Mosteiros	1
86	Poio Moreno	Fuso 25 - 657333	4366787	FLO	Stª. Cruz Flores	Stª. Cruz Flores	1
87	Lajedo	Fuso 25 - 650790	4360067	FLO	Lajes Flores	Lajedo	1
88	Silveira (Pico)	387361	4252423	PIC	Lajes Pico	Lajes do Pico	1
89	Santo Amaro	397777	4257126	PIC	São Roque Pico	Santo Amaro	8
90	Capelo AC4	344984	4271322	FAI	Horta	Capelo	1
91	Varadouro PS4	345789	4270209	FAI	Horta	Capelo	1
92	Fajã	346929	4274998	FAI	Horta	Praia Norte	9
93	Fajã dos Vimes I	419105	4271475	SJ	Calheta	Ribeira Seca	1
94	Fajã dos Vimes II	419106	4271475	SJ	Calheta	Ribeira Seca	1
95	Fajã dos Vimes III	419106	4271476	SJ	Calheta	Ribeira Seca	1
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	420122	4274612	SJ	Calheta	Ribeira Seca	1
97	Fajã do Nortezinho	428259	4270549	SJ	Calheta	Santo Antão	10
98	Ponta da Forcada	414863	4272228	SJ	Calheta	Ribeira Seca	11
99	Carapacho Nasc	416956	4318618	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1
100	Carapacho (AC1)	416847	4318878	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1
101	Carapacho (PS1)	416828	4318641	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1
102	Carapacho (PS2)	416872	4318641	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1
103	Carapacho (PS3)	416926	4318670	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1
104	Homiziados I	417556	4319130	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84 M	P	Ilha Região	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
105	Homiziados II	417583	4319122	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Luz	3a
106	Corelas	410898	4324115	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Guadalupe	3a
107	Pontal	412047	4323857	GRA	Stª. Cruz Graciosa	Guadalupe	1
108	Serreta II	468291	4291942	TER	Angra Heroísmo	Serreta	1
109	Água Santa	480657	4293809	TER	Praia da Vitória	Quatro Ribeiras	1
110	Silveira Ter	479498	4278711	TER	Angra Heroísmo	São Pedro	1
111	Bravio	477685	4278510	TER	Angra Heroísmo	São Mateus	1
112	Tomo do Porto	478139	4294738	TER	Praia Vitória	Biscoitos	1
113	Biscoito Bravo	478682	4294460	TER	Praia Vitória	Biscoitos	1
114	Negrito	475472	4278612	TER	Angra Heroísmo	São Mateus	1
115	Serreta I (antiga)	468209	4291865	TER	Angra Heroísmo	Serreta	12
116	Furo de Angra	479300	4280706	TER	Angra Heroísmo	Terra Chã	13
117	Termas Romanas	Fuso 29 - 627388	4621963	TRAS	Chaves	St.ª Maria Maior	1
118	Cabreiroá	Fuso 29 - 630804	4642744	GAL	Verín	Verín	1
119	Sousas	Fuso 29 - 630829	4644215	GAL	Verín	Verín	1
120	Fontenova	Fuso 29 - 630199	4644167	GAL	Verín	Verín	1
121	Fonte Sapo I	Fuso 29 - 631487	4645469	GAL	Verín	Verín	1
122	Fonte Sapo II	Fuso 29 - 631465	4645480	GAL	Verín	Verín	1
123	Facha	Fuso 29 - 627388	4634182	TRAS	Chaves	Vilarelho Raia	1
124	Filha da Facha	Fuso 29 - 627352	4633953	TRAS	Chaves	Vilarelho Raia	1
125	Água Férrea Eiras	Fuso 29 - 630565	4621483	TRAS	Chaves	Verín	1
126	Termas Chaves AC1	Fuso 29 - 626992	4621751	TRAS	Chaves	St.ª Maria Maior	1
127	Termas Chaves AC2	Fuso 29 - 626952	4621863	TRAS	Chaves	St.ª Maria Maior	1
128	Cadelinas Nasc	Fuso 29 - 630218	4646554	GAL	Verín	Verín	1
129	Caldelinhas Furo 1	Fuso 29 - 630216	4646541	GAL	Verín	Verín	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84 M	P	Ilha Região	Concelho	Freguesia	Referência Bibliográfica
130	Caldelinhas Furo 2	Fuso 29 - 630209	4646540	GAL	Verín	Verín	1

Referências Bibliográficas: 1 - Recursos Hidrominerais dos Açores: Hidrogeologia e Avaliação do potencial sócio-económico (2013); 2 - Herculano, A.C. (1955): Autor da analise: Herculano Carvalho em 1953; 3a - Projecto HIROVULC (2005); 3b - Projecto HIROVULC (2006); 4 - Estudo dos Recursos Hidrícos subterrâneos da ilha de São Miguel- Açores (1999): Autor da analise: I.G.M (1996); 5a - Cabral, M. (1999); 5b - Cabral, M. (2002); 6 - Bensaude, A. (1939): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932. Lepierre, C. (1939); 7 - Accioaiuoli (1940): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932; 8 - Demande et al (1982); 9 - Coutinho, R. (2000); 10 - Forjaz, V.H. e Fernandes, N. (1975); 11 - Accioaiuoli (1946): Autor da analise: Herculano de Carvalho em 1944; 12 - I.S.T. (1920); 13 - Lobo, M.A. (1995).

ANEXO II – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO VULCANOLÓGICO)

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
1	Miguel Henriques	SMG	Vulcão das Furnas	200
2	Água Prata	SMG	Vulcão das Furnas	200
3	Caldeirão	SMG	Vulcão das Furnas	190
4	Água Azeda	SMG	Vulcão das Furnas	190
5	Água Azeda Rebentão	SMG	Vulcão das Furnas	191,7
6	Água do Rego	SMG	Vulcão das Furnas	190
7	Terra Nostra I	SMG	Vulcão das Furnas	220
8	Terra Nostra II	SMG	Vulcão das Furnas	220
9	Terra Nostra III	SMG	Vulcão das Furnas	220
10	Caldeira Grande	SMG	Vulcão das Furnas	197,3
11	Caldeira Asmodeu	SMG	Vulcão das Furnas	194,4
12	Quenturas I	SMG	Vulcão das Furnas	190,1
13	Quenturas II	SMG	Vulcão das Furnas	190,1
14	Quenturas III	SMG	Vulcão das Furnas	190,1
15	Caldeira Lagoa Furnas	SMG	Vulcão das Furnas	287,2
16	Gloria Patri	SMG	Vulcão das Furnas	203,7
17	Torno	SMG	Vulcão das Furnas	190
18	Grutinha I	SMG	Vulcão das Furnas	190
19	Grutinha II	SMG	Vulcão das Furnas	190
20	Água Poça	SMG	Vulcão das Furnas	190
21	Morangueira	SMG	Vulcão das Furnas	190
22	Banhos Férreos I Balneário	SMG	Vulcão das Furnas	200
23	Banhos Férreos I Nascente	SMG	Vulcão das Furnas	200
24	Banhos Férreos II	SMG	Vulcão das Furnas	200
25	Banhos Férreos III	SMG	Vulcão das Furnas	200
26	Banhos Férreos IV	SMG	Vulcão das Furnas	200

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
27	Água Férrea	SMG	Vulcão das Furnas	192,4
28	Ponte	SMG	Vulcão das Furnas	200
29	Água da Helena	SMG	Vulcão das Furnas	208,3
30	Valério I	SMG	Vulcão das Furnas	204,2
31	Valério II	SMG	Vulcão das Furnas	203,8
32	Dr. Bruno	SMG	Vulcão das Furnas	200
33	Sanguinhal	SMG	Vulcão das Furnas	230
34	Serra do Trigo	SMG	Vulcão das Furnas	202
35	Padre José	SMG	Vulcão das Furnas	193,5
36	Caldeira do Esguicho	SMG	Vulcão das Furnas	196,8
37	Água Santa	SMG	Vulcão das Furnas	190
38	Dr. Diniz	SMG	Vulcão das Furnas	190,4
39	Tio José Sousa	SMG	Vulcão das Furnas	190
40	Caldeira dos Vimes	SMG	Vulcão das Furnas	190
41	Caldeira dos Tambores	SMG	Vulcão das Furnas	187
42	Banhos dos Cabaços	SMG	Vulcão das Furnas	226,5
43	Caldeira dos Inhames	SMG	Vulcão das Furnas	190
44	Água da Nora	SMG	Vulcão das Furnas	190
45	Camarça	SMG	Vulcão das Furnas	205
46	Caldeiras Barrentas	SMG	Vulcão das Furnas	197,3
47	Ribeira Quente I	SMG	Vulcão das Furnas	52,4
48	Ribeira Quente II	SMG	Vulcão das Furnas	57,5
49	Ribeira Quente III	SMG	Vulcão das Furnas	76,8
50	Azeda Ribeira Fogo	SMG	Vulcão das Furnas	60
51	Água Alcântara	SMG	Vulcão das Furnas	240
52	Água Azeda da Povoação	SMG	Vulcão da Povoação	411,1

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
53	Porto Formoso I	SMG	Vulcão do Fogo	22
54	Porto Formoso II	SMG	Vulcão do Fogo	30
55	Porto Formoso III	SMG	Vulcão do Fogo	7,8
56	Porto Formoso IV	SMG	Vulcão do Fogo	30
57	Ladeira Velha	SMG	Vulcão do Fogo	6,7
58	Ladeira Velha Férrea	SMG	Vulcão do Fogo	5,1
59	Ribeira das Gramas	SMG	Vulcão do Fogo	150
60	Lombadas	SMG	Vulcão do Fogo	569,5
61	Lombadas Furo I	SMG	Vulcão do Fogo	565,7
62	Lombadas Furo II	SMG	Vulcão do Fogo	560,6
63	Lombadas "Doce "	SMG	Vulcão do Fogo	570
64	Lombadas II	SMG	Vulcão do Fogo	578
65	Fumarola R.G.	SMG	Vulcão do Fogo	250
66	Caldeira Grande R.G.	SMG	Vulcão do Fogo	250
67	Caldeira Pequena R.G.	SMG	Vulcão do Fogo	250
68	Pocinha	SMG	Vulcão do Fogo	219,8
69	Caldeira Velha Nascente	SMG	Vulcão do Fogo	400
70	Caldeira Velha Fumarola	SMG	Vulcão do Fogo	345,8
71	Magarça	SMG	Vulcão do Fogo	162
72	Pico Alto	SMG	Vulcão do Fogo	280
73	Monte Gordo	SMG	Vulcão do Fogo	220
74	FC1_Vieira e Vieira	SMG	Vulcão do Fogo	48,7
75	FC2_Bel Portugal	SMG	Vulcão do Fogo	59,1
76	FC3_Agro Vieiras	SMG	Vulcão do Fogo	116
77	FC4_Insulac	SMG	Vulcão do Fogo	68,1
78	FC6_ Monte dos Frades	SMG	Vulcão do Fogo	120

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
79	Azeda dos Castelinhos	SMG	Vulcão do Fogo	214,4
80	Ferraria I	SMG	Vulcão das Sete Cidades	0
81	Ferraria II	SMG	Vulcão das Sete Cidades	0,6
82	Ferraria III (AC2)	SMG	Vulcão das Sete Cidades	19,2
83	Ferraria IV (AC3)	SMG	Vulcão das Sete Cidades	19,6
84	Mosteiros	SMG	Vulcão das Sete Cidades	7,3
85	São Lázaro	SMG	Vulcão das Sete Cidades	4,5
86	Poio Moreno	FLO	Complexo Base: Unidade Superior - CB1	310
87	Lajedo	FLO	Complexo Base: Unidade Superior - CB1	2
88	Silveira (Pico)	PIC	Complexo Vulcânico São Roque - Piedade	8
89	Santo Amaro	PIC	Complexo Vulcânico São Roque - Piedade	9
90	Capelo AC4	FAI	Complexo do Capelo	185
91	Varadouro PS4	FAI	Complexo dos Cedros	13
92	Fajã	FAI	Complexo do Capelo	4
93	Fajã dos Vimes I	SJ	Complexo Vulcânico do Topo	173
94	Fajã dos Vimes II	SJ	Complexo Vulcânico do Topo	174
95	Fajã dos Vimes III	SJ	Complexo Vulcânico do Topo	174
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	SJ	Complexo Vulcânico do Topo	0
97	Fajã do Nortezinho	SJ	Complexo Vulcânico do Topo	55
98	Ponta da Forcada	SJ	Complexo Vulcânico de Manadas	27
99	Carapacho Nasc	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	4
100	Carapacho (AC1)	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	89
101	Carapacho (PS1)	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	26
102	Carapacho (PS2)	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	36
103	Carapacho (PS3)	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	28

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
104	Homiziados I	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	0
105	Homiziados II	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	0
106	Corelas	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	59
107	Pontal	GRA	Complexo de Vitória - Vulcão Central: Unidade do Vulcão Central	106
108	Serreta II	TER	Complexo Vulcânico de Santa Bárbara	0
109	Água Santa	TER	Complexo Vulcânico do Pico Alto	0
110	Silveira Ter	TER	Complexo Vulcânico Guilherme Moniz	0
111	Bravio	TER	Zona Vulcânica Fissural	0
112	Tomo do Porto	TER	Zona Vulcânica Fissural	0
113	Biscoito Bravo	TER	Zona Vulcânica Fissural	0
114	Negrito	TER	Zona Vulcânica Fissural	0
115	Serreta I (antiga)	TER	Complexo Vulcânico de Santa Bárbara	0
116	Furo de Angra	TER	Zona Vulcânica Fissural	153

ANEXO III – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO)

Ref.	Designação	Ilha/Região	Tipo Emergência	Massa Água	Tipo Aquífero
1	Miguel Henriques	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
2	Água Prata	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
3	Caldeirão	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
4	Água Azeda	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
5	Água Azeda Rebentão	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
6	Água do Rego	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
7	Terra Nostra I	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
8	Terra Nostra II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
9	Terra Nostra III	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
10	Caldeira Grande	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
11	Caldeira Asmodeu	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
12	Quenturas I	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
13	Quenturas II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
14	Quenturas III	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
15	Caldeira Lagoa Furnas	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
16	Gloria Patri	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
17	Torno	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
18	Grutinha I	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
19	Grutinha II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
20	Água Poça	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
21	Morangueira	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
22	Banhos Férreos I Balneário	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
23	Banhos Férreos I Nascente	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
24	Banhos Férreos II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
25	Banhos Férreos III	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude

Ref.	Designação	Ilha/Região	Tipo Emergência	Massa Água	Tipo Aquífero
26	Banhos Férreos IV	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
27	Água Férrea	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
28	Ponte	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
29	Água da Helena	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
30	Valério I	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
31	Valério II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
32	Dr. Bruno	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
33	Sanguinhal	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
34	Serra do Trigo	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
35	Padre José	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
36	Caldeira do Esguicho	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
37	Água Santa	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
38	Dr. Diniz	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
39	Tio José Sousa	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
40	Caldeira dos Vimes	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
41	Caldeira dos Tambores	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
42	Banhos dos Cabaços	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
43	Caldeira dos Inhames	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
44	Água da Nora	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
45	Camarça	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
46	Caldeiras Barrentas	SMG	Fumarola	Furnas - Povoação	Altitude
47	Ribeira Quente I	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
48	Ribeira Quente II	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
49	Ribeira Quente III	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
50	Azeda Ribeira Fogo	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude

Ref.	Designação	Ilha/Região	Tipo Emergência	Massa Água	Tipo Aquífero
51	Água Alcântara	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
52	Água Azeda da Povoação	SMG	Nascente	Furnas - Povoação	Altitude
53	Porto Formoso I	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
54	Porto Formoso II	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
55	Porto Formoso III	SMG	Nascente	Água de Pau	Base
56	Porto Formoso IV	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
57	Ladeira Velha	SMG	Nascente	Água de Pau	Base
58	Ladeira Velha Férrea	SMG	Nascente	Água de Pau	Base
59	Ribeira das Gramas	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
60	Lombadas	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
61	Lombadas Furo I	SMG	Furo	Água de Pau	Altitude
62	Lombadas Furo II	SMG	Furo	Água de Pau	Altitude
63	Lombadas "Doce "	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
64	Lombadas II	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
65	Fumarola R.G.	SMG	Fumarola	Água de Pau	Altitude
66	Caldeira Grande R.G.	SMG	Fumarola	Água de Pau	Altitude
67	Caldeira Pequena R.G.	SMG	Fumarola	Água de Pau	Altitude
68	Pocinha	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
69	Caldeira Velha Nascente	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
70	Caldeira Velha Fumarola	SMG	Fumarola	Água de Pau	Altitude
71	Magarça	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
72	Pico Alto	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
73	Monte Gordo	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
74	FC1_Vieira e Vieira	SMG	Furo	Água de Pau	Base
75	FC2_Bel Portugal	SMG	Furo	Água de Pau	Base

Ref.	Designação	Ilha/Região	Tipo Emergência	Massa Água	Tipo Aquífero
76	FC3_Agro Vieiras	SMG	Furo	Água de Pau	Base
77	FC4_Insulac	SMG	Furo	Água de Pau	Base
78	FC6_ Monte dos Frades	SMG	Furo	Água de Pau	Base
79	Azeda dos Castelinhos	SMG	Nascente	Água de Pau	Altitude
80	Ferraria I	SMG	Poço de Maré	Sete Cidades	Base
81	Ferraria II	SMG	Nascente	Sete Cidades	Base
82	Ferraria III (AC2)	SMG	Furo	Sete Cidades	Base
83	Ferraria IV (AC3)	SMG	Furo	Sete Cidades	Base
84	Mosteiros	SMG	Nascente	Sete Cidades	Base
85	São Lázaro	SMG	Nascente	Sete Cidades	Base
86	Poio Moreno	FLO	Nascente	Inferior	Altitude
87	Lajedo	FLO	Nascente	Inferior	Base
88	Silveira (Pico)	PIC	Poço de Maré	Piedade	Base
89	Santo Amaro	PIC	Nascente	Piedade	Base
90	Capelo AC4	FAI	Furo	Capelo	Base
91	Varadouro PS4	FAI	Furo	Cedros - Castelo Branco	Base
92	Fajã	FAI	Nascente	Cedros - Castelo Branco	Base
93	Fajã dos Vimes I	SJ	Nascente	Oriental	Altitude
94	Fajã dos Vimes II	SJ	Nascente	Oriental	Altitude
95	Fajã dos Vimes III	SJ	Nascente	Oriental	Altitude
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	SJ	Nascente	Oriental	Base
97	Fajã do Nortezinho	SJ	Nascente	Oriental	Altitude
98	Ponta da Forcada	SJ	Nascente	Oriental	Base
99	Carapacho Nasc	GRA	Nascente	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
100	Carapacho (AC1)	GRA	Furo	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base

Ref.	Designação	Ilha/Região	Tipo Emergência	Massa Água	Tipo Aquífero
101	Carapacho (PS1)	GRA	Furo	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
102	Carapacho (PS2)	GRA	Furo	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
103	Carapacho (PS3)	GRA	Furo	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
104	Homiziados I	GRA	Nascente	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
105	Homiziados II	GRA	Nascente	Plataforma Santa Cruz - Guadalupe	Base
106	Corelas	GRA	Furo	Compósito	Base
107	Pontal	GRA	Furo	Compósito	Base
108	Serreta II	TER	Nascente	Santa Bárbara Inferior	Base
109	Água Santa	TER	Nascente	Labaçal - Quatro Ribeiras	Base
110	Silveira Ter	TER	Nascente	Aquifero Central	Base
111	Bravio	TER	Nascente	Biscoitos - Terra Chã	Base
112	Tomo do Porto	TER	Nascente	Biscoitos - Terra Chã	Base
113	Biscoito Bravo	TER	Nascente	Biscoitos - Terra Chã	Base
114	Negrito	TER	Nascente	Biscoitos - Terra Chã	Base
115	Serreta I (antiga)	TER	Nascente	Santa Bárbara Inferior	Base
116	Furo de Angra	TER	Furo	Biscoitos - Terra Chã	Base

ANEXO IV - BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS MAIORES E OUTROS CONSTITUINTES

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	T ºC	pH	Cond (µS/cm)	Alc. mg/L	CO_2 Livre mg/L	SiO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO_4 mg/L	Cl mg/L	HCO_3 mg/L	F mg/L	NO_3 mg/L	Referência Bibliográfica
1	Miguel Henriques	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	21,4	5,21	397	143,0	640,9	118,98	48,85	21,66	14,89	1,99	36,10	19,73	174,5	1,69	0,86	1
2	Água Prata	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	49,4	5,47	370	86,0	541,2	139,08	44,21	20,09	19,07	2,44	25,17	21,32	104,9	1,40	3,68	1
3	Caldeirão	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	74,2	5,91	487	192,0	51,6	167,36	79,29	11,58	16,16	1,98	10,90	30,86	234,2	2,12	n.d	1
4	Água Azeda	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,4	5,05	301	51,5	1048,2	110,54	36,02	18,08	10,07	3,30	15,45	18,69	62,8	1,30	1,29	1
5	Água Azeda Rebentão	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,2	5,02	309	63,0	1264,2	107,86	32,92	14,02	9,69	2,91	20,44	18,90	76,9	3,62	0,69	1
6	Água do Rego	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,3	5,13	315	37,5	771,6	107,09	36,86	15,69	11,31	2,55	29,98	22,60	45,8	1,28	5,32	1
7	Terra Nostra I	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	39,2	5,67	494	142,0	226,1	98,81	53,45	14,45	29,91	5,07	11,44	51,27	173,2	0,66	1,05	1
8	Terra Nostra II	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	39,0	5,68	476	187,0	335,8	129,25	52,19	15,48	18,38	4,25	9,94	58,47	228,2	0,79	0,55	1
9	Terra Nostra III	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	41,2	5,87	468	141,5	166,8	131,82	42,94	14,32	15,65	4,61	11,28	52,50	172,63	0,79	n.d	1
10	Caldeira Grande	29-07-2010	SMG _ FUR	Fumarola	99,8	7,82	2130	633,0	41,6	282,79	411,50	23,33	1,66	0,32	67,87	269,49	772,3	21,41	n.d	1
11	Caldeira Asmodeu	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	94,3	7,22	2360	455,5	68,8	302,47	435,23	19,71	3,23	nd	304,84	278,29	555,7	17,44	22,46	1
12	Quenturas I	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	58,5	6,05	1345	648,0	305,1	232,03	251,46	56,10	36,06	9,76	11,54	75,92	790,6	3,69	0,70	1
13	Quenturas II	05-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,0	7,66	195	53,0	2,9	41,80	24,01	8,91	14,02	3,63	5,62	16,28	64,7	0,52	7,90	1
14	Quenturas III	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	58,3	6,08	1341	613,0	246,2	217,56	260,83	52,26	41,82	11,23	12,14	79,80	747,9	3,72	7,67	1
15	Caldeira Lagoa Furnas	29-07-2010	SMG _ FUR	Fumarola	95,2	5,07	764	34,5	41,6	203,42	107,41	14,20	13,92	1,71	324,57	30,23	42,1	0,62	n.d	1
16	Gloria Patri	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	15,6	6,62	224	71,5	18,0	64,00	25,41	9,93	5,79	3,15	5,21	16,34	87,2	0,86	5,26	1
17	Torno	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	41,0	6,05	1452	663,0	462,6	165,88	313,71	32,79	33,55	12,44	11,45	95,94	808,9	5,00	n.d	1
18	Grutinha I	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	40,8	5,97	1489	649,5	490,9	170,77	321,02	35,11	35,19	11,94	12,80	87,98	792,4	5,37	0,88	1
19	Grutinha II	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	41,3	5,98	1408	669,0	428,4	175,95	280,88	36,14	42,84	10,97	13,45	87,07	816,2	4,96	2,32	1
20	Água Poça	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	46,7	6,24	1588	766,5	399,8	183,01	284,63	42,45	62,44	14,17	8,51	102,13	935,1	2,91	n.d	1
21	Morangueira	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	39,1	6,21	1638	769,0	376,2	187,29	316,79	54,32	83,34	16,10	11,58	94,87	938,2	2,84	3,22	1
22	Banhos Férreos I Balneário	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	36,9	6,29	1659	860,5	452,8	115,71	279,49	26,35	61,13	36,49	12,23	66,53	1049,8	2,93	n.d	1
23	Banhos Férreos I Nascente	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	37,9	6,25	1663	850,5	459,8	127,74	251,14	27,28	74,92	35,89	9,12	60,53	1037,6	2,29	0,54	1
24	Banhos Férreos II	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	35,2	6,77	1605	929,0	170,8	117,82	253,64	40,50	85,38	35,93	9,29	56,64	1133,0	2,98	1,33	1
25	Banhos Férreos III	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	37,1	6,14	1565	191,5	601,2	117,57	278,83	34,05	63,38	35,40	10,25	58,46	233,6	3,26	n.d	1
26	Banhos Férreos IV	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	37,5	6,14	1369	615,0	526,6	93,80	241,98	32,55	58,21	31,54	30,33	51,32	750,3	1,94	1,02	1
27	Água Férrea	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	58,9	6,27	1404	675,0	359,8	232,15	278,77	59,50	35,55	9,33	11,28	70,00	823,5	3,23	n.d	1
28	Ponte	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	91,0	7,31	876	368,0	34,2	233,05	162,03	39,35	21,48	0,96	31,73	24,90	449,0	2,32	n.d	1
29	Água da Helena	20-07-2009	SMG _ FUR	Nascente	15,1	5,06	202	61,0	757,1	57,01	24,40	8,45	14,66	3,43	4,27	19,25	74,4	0,37	n.d	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	T ºC	pH	Cond (µS/cm)	Alc. mg/L	CO_2 Livre mg/L	SiO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO_4 mg/L	Cl mg/L	HCO_3 mg/L	F mg/L	NO_3 mg/L	Referência Bibliográfica
30	Valério I	23-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	27,4	6,04	501	199,0	239,5	137,61	63,61	20,28	16,39	6,47	11,44	31,58	242,8	1,03	12,63	1
31	Valério II	23-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	26,2	5,98	440	162,0	226,3	131,30	44,86	16,41	16,88	5,22	12,38	30,87	197,6	1,07	15,10	1
32	Dr. Bruno	13-08-2010	SMG _ FUR	Nascente	21,3	5,92	572	251,5	181,1	106,00	79,51	21,11	35,46	8,92	9,22	27,14	306,8	1,20	2,42	1
33	Sanguinhal	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	38,4	5,66	579	200,5	634,2	153,02	85,16	32,12	13,15	2,18	6,96	32,81	244,6	1,44	n.d	1
34	Serra do Trigo	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	15,3	5,03	223	57,0	820,2	85,53	26,38	7,95	14,05	3,32	5,25	20,40	69,5	0,71	1,00	1
35	Padre José	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	61,2	5,86	753	277,0	234,0	260,62	118,04	38,06	20,92	3,32	57,30	36,80	337,9	3,85	3,47	1
36	Caldeira do Esguicho	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	96,6	7,60	1796	491,5	37,6	264,14	326,85	30,92	25,14	0,13	56,64	75,04	599,6	5,96	n.d	1
37	Água Santa	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	97,8	7,75	992	84,0	15,2	260,02	188,87	21,25	11,34	0,48	24,25	83,40	102,5	5,58	0,78	1
38	Dr. Diniz	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,5	5,03	309	79,5	849,6	99,18	36,16	15,60	9,99	2,45	24,17	17,39	97,0	1,57	n.d	1
39	Tio José Sousa	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16,8	5,09	373	59,0	736	104,00	54,43	21,99	17,72	2,39	32,38	24,81	72,0	1,31	42,05	1
40	Caldeira dos Vimes	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	92,3	5,83	283	73,0	115,9	89,29	30,78	14,42	10,26	2,18	41,64	21,80	89,1	0,80	2,10	1
41	Caldeira dos Tambores	15-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	93,7	3,13	1959	n.d	163,4	433,11	234,88	75,88	41,56	1,29	735,71	145,26	n.d	2,66	n.d	1
42	Banhos dos Cabaços	13-08-1953	SMG _ FUR	Nascente	39,0	5,85	587	203,0	n.d	175,00	83,70	20,90	20,30	5,10	10,50	57,20	247,7	0,90	n.d	2
43	Caldeira dos Inhames	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	69,4	4,93	350	11,5	38,6	86,70	29,57	15,60	14,00	2,93	60,94	10,30	14,0	0,25	n.d	1
44	Água da Nora	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	18,1	7,10	341	68,0	15,0	93,83	46,16	12,72	4,32	1,05	18,64	33,43	83,0	2,39	8,08	1
45	Camarça	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	14,6	7,36	193	58,5	17,8	62,78	23,67	7,32	5,76	2,90	5,08	14,53	71,4	0,09	3,62	1
46	Caldeiras Barrentas	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	75,6	2,10	2590	n.d	929,8	280,22	55,22	20,74	23,00	1,36	1399,38	135,59	n.d	n.d	n.d	1
47	Ribeira Quente I	23-06-2006	SMG _ FUR	Nascente	23,4	5,48	906	276,0	913,6	135,03	80,00	12,50	77,00	17,60	92,00	80,94	376,2	n.d	n.d	3b
48	Ribeira Quente II	17-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	29,3	7,90	1007	378,0	6,5	140,69	176,65	24,27	81,16	12,81	55,92	126,36	461,2	1,00	1,36	1
49	Ribeira Quente III	17-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	46,0	6,92	1174	386,0	61,8	124,59	20,31	20,59	66,05	10,58	52,42	136,76	470,9	0,82	1,47	1
50	Azeda Ribeira Fogo	01-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	18,2	5,86	1120	399,0	879,6	119,27	185,80	31,39	42,30	14,02	15,70	62,00	486,8	6,25	4,02	1
51	Água Alcântara	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	18,1	5,43	376	138,5	572,2	91,28	32,70	10,45	35,64	12,10	4,32	24,49	169,0	1,08	2,26	1
52	Água Azeda da Povoação	13-07-2006	SMG_ POV	Nascente	15,0	4,87	139	55,0	787,0	42,00	44,00	4,60	8,80	10,00	6,20	16,68	67,1	n.d	n.d	3b
53	Porto Formoso I	27-07-2005	SMG_FOG	Nascente	17,4	5,20	326	54,0	522,4	87,10	45,00	8,50	5,60	6,18	13,00	47,20	65,9	n.d	n.d	3a
54	Porto Formoso II	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	18,0	5,01	181	32,5	485,0	75,93	23,61	4,30	4,18	1,64	5,81	22,79	39,6	0,26	7,11	1
55	Porto Formoso III	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	15,0	5,07	165	28,0	437,0	56,93	20,05	3,79	3,68	1,92	6,89	20,52	34,2	0,19	9,77	1
56	Porto Formoso IV	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	18,1	4,97	179	35,0	591,8	66,22	21,76	4,20	4,15	1,59	5,76	22,22	42,7	0,25	6,41	1
57	Ladeira Velha	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	28,5	5,34	311	128,5	485,6	129,69	38,59	7,80	12,54	2,71	5,47	17,87	156,8	0,93	n.d	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	T ºC	pH	Cond (µS/cm)	Alc. mg/L	CO_2 Livre mg/L	SiO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO_4 mg/L	Cl mg/L	HCO_3 mg/L	F mg/L	NO_3 mg/L	Referência Bibliográfica
58	Ladeira Velha Férrea	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	33,5	5,46	449	153,0	435,1	150,23	59,23	8,25	19,75	3,84	7,57	45,29	186,7	1,42	n.d	1
59	Ribeira das Gramas	21-07-2009	SMG_FOG	Nascente	21,4	4,96	229	19,5	714,0	72,17	32,31	6,60	5,36	2,64	6,98	36,35	23,8	0,18	9,12	1
60	Lombadas	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	16,2	5,14	360	50,0	1067,2	108,62	47,33	20,75	8,23	2,69	3,26	15,24	61,0	0,55	1,25	1
61	Lombadas Furo I	27-07-2005	SMG_FOG	Furo	22,5	5,27	537	229,0	966,5	134,40	82,00	37,00	10,80	7,11	5,00	18,80	279,4	n.d	n.d	3a
62	Lombadas Furo II	11-08-2010	SMG_FOG	Furo	18,2	5,34	485	212,0	795,9	120,24	71,53	34,89	12,08	3,76	3,60	14,96	258,6	0,66	n.d	1
63	Lombadas "Doce "	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	13,2	6,35	122	79,5	18,2	71,45	22,46	6,97	2,43	0,71	3,92	18,76	97,0	0,80	n.d	1
64	Lombadas II	11-08-2010	SMG_FOG	Nascente	22,8	5,33	407	184,0	927,9	136,14	50,88	20,99	2,02	3,49	6,62	14,22	224,5	0,80	1,39	1
65	Fumarola R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	59,0	2,80	994	n.d	244,4	216,30	27,64	14,84	27,33	2,53	256,66	145,25	n.d	n.d	n.d	1
66	Caldeira Grande R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	47,8	2,71	285	n.d	245,4	114,58	16,92	8,77	15,53	1,35	201,80	19,91	n.d	n.d	2,59	1
67	Caldeira Pequena R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	45,0	2,85	767	n.d	305,2	141,95	16,60	10,46	22,56	2,52	205,85	30,26	n.d	n.d	2,64	1
68	Pocinha	14-12-2010	SMG_FOG	Nascente	27,3	4,60	239	26,0	633,2	70,23	24,32	9,81	6,28	1,51	46,09	23,14	31,7	n.d	n.d	1
69	Caldeira Velha Nascente	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	34,2	4,48	173	21,0	658,3	45,51	14,47	4,29	4,14	1,81	31,41	18,13	25,6	0,47	2,20	1
70	Caldeira Velha Fumarola	13-10-2010	SMG_FOG	Fumarola	91,1	2,09	2850	n.d	695,3	273,77	35,13	20,13	21,61	1,82	907,50	125,50	n.d	n.d	n.d	1
71	Magarça	11-08-2010	SMG_FOG	Nascente	18,7	4,84	345	30,5	634,4	78,99	47,48	11,71	7,90	3,35	7,94	68,84	37,2	n.d	3,76	1
72	Pico Alto	06-06-2006	SMG_FOG	Nascente	70,3	5,98	360	72,5	90,0	167,99	37,00	23,00	8,90	2,66	19,50	35,14	88,5	n.d	n.d	3b
73	Monte Gordo	03-10-1996	SMG_FOG	Nascente	51,0	5,20	417	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	4
74	FC1_Vieira e Vieira	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	31,1	6,36	2090	296,0	208,8	135,25	349,00	48,00	20,00	38,00	71,00	446,90	361,1	n.d	n.d	3a
75	FC2_Bel Portugal	23-07-1999	SMG_FOG	Furo	40,0	5,90	10800	304,1	n.d	136,00	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	3660,00	371,0	n.d	n.d	5a
76	FC3_Agro Vieiras	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	17,0	6,15	403	72,0	121,2	135,03	48,00	20,00	8,20	6,26	9,80	32,31	87,8	n.d	n.d	3a
77	FC4_Insulac	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	27,5	5,60	590	188,0	315,6	153,87	59,0	36,00	20,00	17,00	5,70	55,38	229,4	n.d	n.d	3a
78	FC6_ Monte dos Frades	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	26,0	5,27	394	96,5	610,8	159,64	44,00	26,00	12,20	7,92	13,30	51,50	117,7	n.d	n.d	3a
79	Azeda dos Castelinhos	30-06-1939	SMG_FOG	Nascente	n.d	n.d	n.d	55,0	n.d	81,60	43,30	1,93	5,20	3,90	62,10	n.d	67,1	n.d	n.d	6
80	Ferraria I	20-04-1932	SMG_SC	Poço de Maré	62,5	n.d	n.d	479,7	n.d	107,60	6676,70	n.d	508,33	478,04	1305,60	11296,94	585,2	n.d	n.d	7
81	Ferraria II	28-07-2009	SMG_SC	Nascente	57,6	6,41	4640	349,5	134,8	134,96	1735,48	541,60	532,60	852,80	1994,54	4408	426,4	n.d	n.d	1
82	Ferraria III (AC2)	06-12-2002	SMG_SC	Furo	58,0	6,10	27000	498,4	n.d	143,00	5700,00	339,00	310,00	572,00	1120,00	10500,00	608,0	0,70	n.d	5b
83	Ferraria IV (AC3)	30-09-2010	SMG_SC	Furo	61,3	6,10	34300	481,5	237,1	206,76	4202,50	357,90	425,30	652,95	1416,90	12638,00	587,4	n.d	n.d	1
84	Mosteiros	23-08-2010	SMG_SC	Nascente	39,5	5,90	10300	385,0	307,1	138,55	1876,40	84,33	174,62	176,92	294,99	3095,07	469,7	n.d	n.d	1
85	São Lázaro	27-07-2009	SMG_SC	Nascente	33,3	6,56	18500	362,5	222,8	113,62	3539,10	143,10	202,65	338,10	831,88	7282,63	442,2	n.d	n.d	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	T ºC	pH	Cond (µS/cm)	Alc. mg/L	CO_2 Livre mg/L	SiO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO_4 mg/L	Cl mg/L	HCO_3 mg/L	F mg/L	NO_3 mg/L	Referência Bibliográfica
86	Poio Moreno	13-07-2010	FLO	Nascente	24,6	6,77	1243	652,5	72,0	99,11	115,30	28,46	76,01	51,14	5,78	41,98	796,0	0,06	n.d	1
87	Lajedo	12-07-2010	FLO	Nascente	50,7	6,82	1355	497,5	60,5	88,74	247,85	6,39	52,12	12,16	51,20	114,44	607,0	5,14	n.d	1
88	Silveira (Pico)	19-07-2010	PIC	Poço de Maré	15,8	6,35	1705	252,0	125,0	56,23	274,31	33,73	19,61	49,61	45,47	356,64	307,4	n.d	3,11	1
89	Santo Amaro	15-01-1982	PIC	Nascente	16,0	6,86	3980	69,0	n.d	35,00	731,40	31,40	44,50	95,20	184,50	1317,00	84,8	0,30	n.d	8
90	Capelo AC4	20-07-2010	FAI	Furo	37,6	6,17	7170	346,5	199,0	111,42	1030,80	50,30	128,15	152,33	191,01	2072,85	422,7	n.d	n.d	1
91	Varadouro PS4	20-07-2010	FAI	Furo	20,8	6,39	6060	225,0	142,5	78,94	794,80	35,15	77,00	175,80	195,26	1696,25	274,5	n.d	n.d	1
92	Fajã	15-08-1996	FAI	Nascente	18	6,05	9440	332,0	194,4	90,76	1696,50	71,8	194,70	234,50	95,94	3337,00	405,0	n.d	n.d	9
93	Fajã dos Vimes I	26-07-2010	SJ	Nascente	14,7	5,44	193	61,0	209,0	41,60	18,06	1,47	13,19	5,77	2,80	20,97	74,4	n.d	n.d	1
94	Fajã dos Vimes II	26-07-2010	SJ	Nascente	14,5	5,59	190	60,5	202,5	42,35	18,55	1,52	10,21	6,08	3,47	20,81	73,8	0,02	n.d	1
95	Fajã dos Vimes III	26-07-2010	SJ	Nascente	14,4	5,52	197	51,0	330,0	37,46	17,44	1,47	11,66	6,02	3,61	19,78	62,2	n.d	0,59	1
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	27-07-2010	SJ	Nascente	22,3	5,17	1116	90,0	487,7	86,07	127,57	5,42	31,39	26,11	35,37	51,60	109,8	258,01	8,68	1
97	Fajã do Nortezinho	08-01-1969	SJ	Nascente	n.d	7,70	n.d	54,1	2,7	64,50	41,40	n.d	3,60	0,70	5,30	27,40	65,9	1,00	n.d	10
98	Ponta da Forcada	30-06-1944	SJ	Nascente	n.d	n.d	n.d	120,0	2407	97,20	94,30	n.d	32,00	26,10	20,20	180,10	146,4	n.d	n.d	11
99	Carapacho Nasc	14-04-2010	GRA	Nascente	32,7	7,03	11460	765,0	57,3	116,75	1279,10	112,05	232,35	241,15	268,01	3536,83	933,3	n.d	n.d	1
100	Carapacho (AC1)	14-04-2010	GRA	Furo	45,3	6,34	46000	885,0	244,8	124,89	6584,20	513,80	848,60	840,20	1629,18	17748,08	1097,7	n.d	n.d	1
101	Carapacho (PS1)	14-04-2010	GRA	Furo	25,3	7,14	53000	266,5	53,2	41,79	15944,40	388,50	674,80	1060,80	2381,56	20588,52	325,1	n.d	n.d	1
102	Carapacho (PS2)	14-04-2010	GRA	Furo	38,5	6,40	10940	717,5	202,8	103,13	1099,70	72,40	277,60	308,00	226,35	2816,19	875,4	n.d	n.d	1
103	Carapacho (PS3)	14-04-2010	GRA	Furo	40,6	6,59	22800	720,0	185,0	111,00	2758,50	178,10	457,20	497,40	1423,70	15733,98	878,4	n.d	n.d	1
104	Homiziados I	16-08-2010	GRA	Nascente	56,2	6,32	45300	582,5	477,0	172,12	10336,00	639,40	828,00	757,00	1464,84	17742,90	710,6	n.d	n.d	1
105	Homiziados II	30-06-2005	GRA	Nascente	36,6	6,75	13100	618,0	73	94,20	2500,00	101,00	83,00	13,30	460,00	3418,60	754,0	n.d	n.d	3a
106	Corelas	29-06-2005	GRA	Furo	38,0	4,79	6640	10,0	1175,4	88,60	231,00	19,00	22,00	13,60	1,90	n.d	12,2	n.d	n.d	3a
107	Pontal	16-08-2010	GRA	Furo	27,7	7,04	3620	65,0	4,5	26,05	732,60	33,49	143,50	110,52	100,98	1175,72	79,3	n.d	23,10	1
108	Serreta II	18-08-2010	TER	Nascente	23,5	5,80	17200	492,5	581,0	65,05	413,61	148,70	222,35	501,15	816,33	6514,38	600,8	n.d	n.d	1
109	Água Santa	19-08-2010	TER	Nascente	22,1	5,75	1982	111,0	208,2	62,71	156,50	13,21	32,10	28,70	69,97	480,32	135,4	0,44	26,62	1
110	Silveira Ter	19-08-2010	TER	Nascente	21,7	6,54	4600	167,5	41,7	59,12	378,63	14,81	72,79	81,17	176,08	1314,05	204,4	n.d	25,38	1
111	Bravio	19-08-2010	TER	Nascente	20,0	6,31	5500	135,5	55,1	66,73	1237,30	37,60	71,48	132,10	274,55	2056,68	165,3	n.d	15,13	1
112	Tomo do Porto	19-08-2010	TER	Nascente	14,8	7,87	401	57,5	2,0	54,56	69,23	2,68	2,54	2,99	13,00	75,45	70,2	2,84	9,33	1
113	Biscoito Bravo	19-08-2010	TER	Nascente	15,7	7,26	470	28,0	5,6	64,32	154,32	6,17	9,29	4,05	15,74	95,14	34,2	3,60	8,74	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	T ºC	pH	Cond (µS/cm)	Alc. mg/L	CO_2 Livre mg/L	SiO_2 mg/L	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO_4 mg/L	Cl mg/L	HCO_3 mg/L	F mg/L	NO_3 mg/L	Referência Bibliográfica
114	Negrito	21-04-2010	TER	Nascente	16,8	6,80	15440	104,0	16,2	48,67	2777,20	86,90	164,25	303,15	632,50	5153,63	126,9	n.d	25,60	1
115	Serreta I (antiga)	31-07-1920	TER	Nascente	n.d	n.d	n.d	555,0	n.d	n.d	250,70	0,40	132,00	45,00	46,10	386,90	671,0	n.d	n.d	12
116	Furo de Angra	20-07-1995	TER	Furo	38,3	7,10	1966	n.d	n.d	140,50	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	245,00	n.d	n.d	n.d	13
117	Termas Romanas	03-11-2010	TRAS	Nascente	62,7	6,53	2410	1306,5	289,5	63,31	454,18	3,07	35,32	4,51	30,11	41,95	1593,9	7,45	1,34	1
118	Cabreroá	28-10-2010	TRAS	Nascente	12,5	6,12	2470	1350,5	807,0	51,18	520,38	61,94	27,18	13,24	3,99	27,69	1647,6	4,86	n.d	1
119	Sousas	28-10-2010	TRAS	Nascente	14,1	6,62	1896	1001,5	160,0	47,20	459,22	31,82	28,24	8,68	0,92	23,45	1221,8	6,97	n.d	1
120	Fontenova	28-10-2010	TRAS	Nascente	17,2	6,41	2600	1456,5	400,2	49,81	544,32	47,80	18,17	5,75	8,42	27,27	1776,9	15,35	n.d	1
121	Fonte Sapo I	29-10-2010	TRAS	Nascente	15,3	6,70	1115	528,5	151,6	47,71	204,76	19,60	7,74	2,61	2,22	13,30	644,8	8,12	6,34	1
122	Fonte Sapo II	29-10-2010	TRAS	Nascente	16,3	6,74	1540	795,0	197,4	47,62	309,60	17,50	9,43	2,47	1,48	16,70	969,9	12,16	n.d	1
123	Facha	02-11-2010	TRAS	Furo	16,9	6,60	2180	1245,5	356,6	39,73	430,82	15,80	30,72	4,72	6,57	22,50	1519,5	6,24	n.d	1
124	Filha da Facha	02-11-2010	TRAS	Furo	17,9	6,70	1416	789,5	152,2	36,09	238,66	12,73	28,40	4,52	3,90	14,63	963,2	4,25	n.d	1
125	Água Férrea Eiras	02-11-2010	TRAS	Nascente	15,0	6,35	202	51,5	36,3	35,71	10,30	2,19	11,70	3,60	16,78	7,24	62,8	0,09	n.d	1
126	Termas Chaves AC1	03-11-2010	TRAS	Furo	63,9	6,68	2420	1241,5	211,3	63,21	498,78	15,93	31,11	4,92	29,92	39,99	1514,6	8,07	n.d	1
127	Termas Chaves AC2	03-11-2010	TRAS	Furo	67,4	6,60	2560	1395,0	188,9	61,54	547,52	16,87	28,92	4,71	19,61	37,10	1701,9	8,17	n.d	1
128	Cadelinas Nasc	06-11-2010	TRAS	Nascente	23,6	6,92	1877	993,5	154,1	42,78	169,77	18,45	106,36	3,20	0,26	20,00	1212,1	15,28	12,22	1
129	Caldelinhas Furo 1	06-11-2010	TRAS	Furo	17,8	6,84	1865	1041,0	192,6	40,96	280,50	14,52	14,22	3,00	n.d	20,33	1270,0	15,37	n.d	1
130	Caldelinhas Furo 2	06-11-2010	TRAS	Furo	18,0	6,84	1860	911,0	197,1	38,62	369,02	17,02	15,55	3,22	0,21	20,81	1111,4	15,70	15,83	1

Referências Bibliográficas: 1 - Recursos Hidrominerais dos Açores: Hidrogeologia e Avaliação do potencial sócio-económico (2013); 2 - Herculano, A.C. (1955): Autor da analise: Herculano Carvalho em 1953; 3a - Projecto HIROVULC (2005); 3b - Projecto HIROVULC (2006); 4 - Estudo dos Recursos Hidrícos subterrâneos da ilha de São Miguel- Açores (1999): Autor da analise: I.G.M (1996); 5a - Cabral, M. (1999); 5b - Cabral, M. (2002); 6 - Bensaude, A. (1939): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932. Lepierre, C. (1939); 7 - Accioaiuoli (1940): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932; 8 - Demande et al (1982); 9 - Coutinho, R. (2000); 10 - Forjaz, V.H. e Fernandes, N. (1975); 11 - Accioaiuoli (1946): Autor da analise: Herculano de Carvalho em 1944; 12 - I.S.T. (1920); 13 - Lobo, M.A. (1995).

ANEXO V – BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS MENORES E EM TRAÇO

Ref.	Local de Recolha	Data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
1	Miguel Henriques	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	15	30,3	1640	120	1,8	29,3	1,7	2,5	0,32	0,694	<0,5	812	1,77	0,04	<0,2	<0,2	1
2	Água Prata	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	16	29,2	1310	1610	3,2	20,1	1,4	1,5	0,27	0,227	0,8	861	0,87	0,06	0,2	<0,2	1
3	Caldeirão	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	39	25,1	1110	420	1,9	44,4	1,9	1,0	0,33	0,063	<0,5	211	35,0	0,1	0,3	<0,2	1
4	Água Azeda	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	6	25,8	783	40	2,8	29,6	1,8	0,7	0,46	1,18	<0,5	990	0,80	0,05	<0,2	<0,2	1
5	Água Azeda Rebentão	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	8	24,7	701	210	2,7	32,7	1,1	1,2	0,22	0,175	<0,5	1030	2,08	0,14	<0,2	<0,2	1
6	Água do Rego	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	7	25,9	944	380	3,9	42,8	1,9	1,8	0,31	0,635	<0,5	1030	2,36	0,17	0,2	<0,2	1
7	Terra Nostra I	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	35	48,9	1730	>10000	12,9	18,9	1,6	3,7	0,26	0,516	11,6	58	40,6	0,06	0,4	<0,2	1
8	Terra Nostra II	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	39	58,8	1730	>10000	5,3	7,6	0,8	0,4	0,14	0,248	<0,5	36	49,2	0,02	0,2	<0,2	1
9	Terra Nostra III	18-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	34	42,4	1490	>10000	11	90,7	2,7	1,4	0,28	0,796	0,9	272	37,9	0,21	<0,2	<0,2	1
10	Caldeira Grande	29-07-2010	SMG _ FUR	Fumarola	292	26,1	32,9	80	2	13,3	5,5	2,4	0,66	0,087	5,8	326	>200	<0,01	1,2	<0,2	1
11	Caldeira Asmodeu	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	321	21,1	39,8	460	2,6	9,3	5,6	4,4	0,42	0,091	0,9	1260	>200	0,05	1,3	<0,2	1
12	Quenturas I	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	154	76,4	488	440	3	18,3	4,3	1,5	0,52	0,081	<0,5	35	23,0	0,08	0,5	<0,2	1
13	Quenturas II	05-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	2	24,4	4,2	230	1,1	6,8	0,8	0,3	0,24	0,025	<0,5	17	1,07	0,38	0,6	<0,2	1
14	Quenturas III	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	159	77,0	659	600	4	23,1	3,3	0,9	0,47	0,413	<0,5	45	20,6	0,19	0,5	<0,2	1
15	Caldeira Lagoa das Furnas	29-07-2010	SMG _ FUR	Fumarola	54	42,5	228	210	13,1	25,5	2	1,6	0,29	0,304	0,6	204	3,17	0,09	<0,2	<0,2	1
16	Gloria Patri	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	2	23,2	6,4	<10	1,7	5,0	0,4	0,6	0,04	0,009	0,7	9	0,82	0,02	0,3	<0,2	1
17	Torno	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	212	70,2	1120	530	4	19,5	3,8	1,0	0,48	0,186	1,0	525	48,4	0,07	0,5	<0,2	1
18	Grutinha I	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	231	78,7	924	1620	2,2	17,9	4,7	1,2	0,4	0,069	0,5	177	56,5	0,07	<0,2	<0,2	1
19	Grutinha II	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	212	88,5	1170	530	2,4	39,0	6,3	1,3	1,64	0,075	0,7	160	40,3	0,06	<0,2	<0,2	1
20	Água Poça	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	236	97,5	627	780	4,2	4,5	2,7	0,8	0,05	0,036	0,6	16	35,4	0,03	<0,2	<0,2	1
21	Morangueira	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	286	>200	1460	570	7,7	55,3	4,8	1,6	0,52	0,213	0,9	47	59,3	0,13	<0,2	<0,2	1
22	Banhos Férreos I Balneário	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	192	114	576	20	11,1	16,6	5,1	1,4	0,16	0,167	0,9	22	11,1	0,22	<0,2	<0,2	1
23	Banhos Férreos I Nascente	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	188	103	569	30	3,4	16,6	4,2	0,8	0,13	0,034	0,7	22	9,03	0,03	<0,2	<0,2	1
24	Banhos Férreos II	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	179	93,7	97,7	40	3,6	19,9	4,5	1,1	0,23	0,039	1,2	24	13,6	0,09	<0,2	<0,2	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
25	Banhos Férreos III	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	177	98,6	627	30	4,3	17,4	5	1,0	0,21	0,067	0,9	19	12,5	0,05	<0,2	<0,2	1
26	Banhos Férreos IV	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	137	84,1	531	30	7,9	10,5	3,6	1,0	0,1	0,200	0,8	73	1,13	0,08	<0,2	<0,2	1
27	Água Férrea	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	180	79,2	475	190	4,6	11,3	3,7	1,4	0,09	0,055	1,7	19	17,7	0,06	<0,2	<0,2	1
28	Ponte	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	91	30,9	431	60	6,3	9,1	1,9	0,5	0,1	0,013	0,7	57	0,21	0,05	<0,2	<0,2	1
29	Água da Helena	20-07-2009	SMG _ FUR	Nascente	4	42,2	796	290	9,1	97,8	4,2	3,8	0,6	0,102	0,6	213	2,83	0,12	0,4	<0,2	1
30	Valério I	23-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	37	52,5	115	290	4,3	30,2	2,9	1,8	0,63	0,203	2,1	324	5,57	0,08	0,2	<0,2	1
31	Valério II	23-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	31	43,0	10,1	50	2,1	16,1	1,5	1,7	0,31	0,075	<0,5	57	5,62	0,09	0,3	<0,2	1
32	Dr. Bruno	13-08-2010	SMG _ FUR	Nascente	30	54,4	32,2	10	0,8	17,9	1,2	0,5	0,08	0,023	<0,5	71	1,40	0,08	<0,2	<0,2	1
33	Sanguinhal	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	37	24,9	765	1570	3,3	10,2	0,7	0,9	0,06	0,292	0,8	54	1,04	0,04	<0,2	<0,2	1
34	Serra do Trigo	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	3	88,6	144	20	11,1	16,1	1,8	0,7	0,14	0,352	0,7	478	0,85	0,1	<0,2	<0,2	1
35	Padre José	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	64	31,7	1740	2740	6,2	17,3	3,7	1,9	0,5	0,199	0,8	43	3,77	0,09	0,2	<0,2	1
36	Caldeira do Esguicho	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	241	6,98	82,5	90	7,3	35,0	7,6	2,1	0,57	0,12	1,3	656	>200	0,07	<0,2	<0,2	1
37	Água Santa	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	110	30,6	613	300	4,2	11,0	4,2	3,8	0,26	0,100	1,3	75	>200	0,04	<0,2	<0,2	1
38	Dr. Diniz	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	7	24,7	763	320	10,2	48,4	2,3	1,6	0,19	0,488	<0,5	886	1,73	0,13	<0,2	<0,2	1
39	Tio José Sousa	29-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	8	20,4	741	20	1,3	58,4	2,3	3,3	0,24	1,13	<0,5	778	1,20	0,17	<0,2	<0,2	1
40	Caldeira dos Vimes	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	7	21,1	516	1940	3,7	14,8	1,4	0,8	0,07	0,141	<0,5	223	4,14	0,17	<0,2	<0,2	1
41	Caldeira dos Tambores	15-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	119	35,9	4470	>10000	11,1	184	9,1	14,6	1,56	0,634	1,3	>2000	>200	0,4	<0,2	<0,2	1
42	Banhos dos Cabaços	13-08-1953	SMG _ FUR	Nascente	n.d	n.d	1820	7,8	n.d	n.d	181	n.d	n.d	n.d	n.d	9,5	n.d	n.d	n.d	n.d	2
43	Caldeira dos Inhames	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	6	28,5	907	1640	5,1	24,1	2,8	1,7	0,35	0,127	0,9	426	0,91	0,2	<0,2	<0,2	1
44	Água da Nora	14-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	13	9,49	14,7	60	1,6	12,6	1,1	1,3	0,08	0,031	1	82	4,32	0,08	0,5	<0,2	1
45	Camarça	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	2	17,6	3,1	30	1,3	10,7	0,8	1,8	0,19	0,045	1,1	23	2,08	1,52	0,3	<0,2	1
46	Caldeiras Barrentas	14-10-2010	SMG _ FUR	Fumarola	23	45,4	1410	>10000	6,9	226	7,4	17,0	1,72	7,15	11,4	>2000	>200	0,58	1,2	<0,2	1
47	Ribeira Quente I	23-06-2006	SMG _ FUR	Nascente	73	>200	2560	16000	86,3	60,2	1	11,5	0,06	7,08	<0,5	90	2,19	0,13	n.d	n.d	3b
48	Ribeira Quente II	17-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	80	>200	416	410	45,3	21,9	3,1	1,9	0,28	0,512	<0,5	100	3,62	0,09	<0,2	<0,2	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
49	Ribeira Quente III	17-02-2010	SMG _ FUR	Nascente	92	>200	2660	1030	167	47,9	4,8	1,3	0,91	0,517	0,6	520	4,28	0,07	<0,2	<0,2	1
50	Azeda Ribeira Fogo	01-07-2010	SMG _ FUR	Nascente	35	161	825	20	28	22,4	3,6	8,5	0,38	1,82	<0,5	984	2,39	0,5	<0,2	<0,2	1
51	Água Alcântara	15-10-2010	SMG _ FUR	Nascente	17	130	198	<10	9,6	17,5	3,3	1,0	0,11	0,365	0,7	160	1,83	0,18	<0,2	<0,2	1
52	Água Azeda da Povoação	13-07-2006	SMG_ POV	Nascente	n.d	n.d	n.d	30	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	22	n.d	n.d	n.d	n.d	3b
53	Porto Formoso I	27-07-2005	SMG_FOG	Nascente	12	56,6	467	20	n.d	87,7	0,2	2,8	<0,2	n.d	<0,5	322	0,05	0,25	n.d	n.d	3a
54	Porto Formoso II	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	5	26,4	207	20	1,1	46,1	0,6	0,5	0,13	0,031	<0,5	322	0,47	0,15	0,3	<0,2	1
55	Porto Formoso III	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	3	20,5	242	<10	1,2	21,1	0,4	<0,3	0,06	0,024	<0,5	292	0,23	0,11	0,3	<0,2	1
56	Porto Formoso IV	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	4	26,0	199	20	2,1	43,4	35,6	0,9	0,32	0,051	0,7	405	0,47	0,16	<0,2	<0,2	1
57	Ladeira Velha	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	29	62,7	2630	<10	9,2	118	0,5	1,1	0,16	0,541	<0,5	585	2,58	0,32	<0,2	<0,2	1
58	Ladeira Velha Férrea	10-08-2010	SMG_FOG	Nascente	58	144	3910	7840	19,8	198	<0,2	1,8	0,05	0,873	<0,5	622	11,1	0,35	<0,2	<0,2	1
59	Ribeira das Gramas	21-07-2009	SMG_FOG	Nascente	3	23,9	275	740	7,8	28,1	1,9	1,0	0,23	0,28	<0,5	261	0,82	0,34	<0,2	<0,2	1
60	Lombadas	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	13	34,3	1650	110	2,4	70,1	2,4	0,8	0,18	0,436	<0,5	338	0,34	0,43	<0,2	<0,2	1
61	Lombadas Furo I	27-07-2005	SMG_FOG	Furo	44	54,4	3790	1050	3,4	130	0,8	0,5	0,12	1,87	<0,5	413	<0,03	0,78	n.d	n.d	3a
62	Lombadas Furo II	11-08-2010	SMG_FOG	Furo	37	53,3	1200	20	1,9	23,6	2,1	<0,3	0,19	0,023	<0,5	447	0,20	0,46	<0,2	<0,2	1
63	Lombadas "Doce "	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	5	15	70,5	110	3	24,4	2,1	1,9	0,44	0,196	0,5	102	1,26	0,07	<0,2	<0,2	1
64	Lombadas II	11-08-2010	SMG_FOG	Nascente	43	27,1	2280	>10000	1,8	147	0,3	0,3	0,05	1,94	<0,5	581	0,12	0,43	<0,2	<0,2	1
65	Fumarola R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	8	56,2	900	2930	20,5	75,6	4,5	1,9	1,28	0,928	0,8	>2000	1,00	0,22	0,30	<0,2	1
66	Caldeira Grande R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	5	17,2	523	4520	11,3	90,2	8,1	2,3	8,02	0,67	1	>2000	1,05	0,23	<0,2	<0,2	1
67	Caldeira Pequena R.G.	14-12-2010	SMG_FOG	Fumarola	4	24,5	289	4170	16	54,7	5,2	2,7	2,55	0,799	2	>2000	0,50	0,12	<0,2	<0,2	1
68	Pocinha	14-12-2010	SMG_FOG	Nascente	7	9,52	371	<10	6,2	13,1	0,4	2,1	<0,01	0,258	<0,5	12	0,22	0,05	<0,2	<0,2	1
69	Caldeira Velha Nascente	30-07-2010	SMG_FOG	Nascente	5	7,18	587	750	2,4	45,1	1,9	1,0	0,32	0,206	<0,5	668	82,6	0,09	<0,2	<0,2	1
70	Caldeira Velha Fumarola	13-10-2010	SMG_FOG	Fumarola	12	37,2	1060	>10000	19,2	147	17,8	11,8	4,47	3,07	8,2	>2000	3,96	0,36	0,8	<0,2	1
71	Magarça	11-08-2010	SMG_FOG	Nascente	5	31,2	383	10	3,1	27,4	0,6	0,5	0,06	0,161	<0,5	533	0,20	0,14	0,40	<0,2	1
72	Pico Alto	06-06-2006	SMG_FOG	Nascente	12	32,7	888	100		12,3	0,9	2,6	0,07		<0,5	54	0,11	0,04	n.d	n.d	3b

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
73	Monte Gordo	24-01-2012	SMG_FOG	Nascente	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	4
74	FC1_Vieira e Vieira	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	34	>200	463	170	16,5	10,3	9	9,4	0,22	0,448	<0,5	10	203	0,08	n.d	n.d	3a
75	FC2_Bel Portugal	23-07-1999	SMG_FOG	Furo	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	5a
76	FC3_Agro Vieiras	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	9	35,8	2,5	50	2,2	19,9	3,3	1	0,36	0,022	3,4	66	0,89	0,07	n.d	n.d	3a
77	FC4_Insulac	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	14	150	109	80	8,7	43,5	2	1,2	1,87	0,266	1,7	61	0,49	0,16	n.d	n.d	3a
78	FC6_ Monte dos Frades	18-05-2005	SMG_FOG	Furo	11	85,9	99,6	n.d	3	48,3	10,8	0,9	0,65	0,041	1,3	120	0,26	0,11	n.d	n.d	3a
79	Azeda dos Castelinhos	30-06-1939	SMG_FOG	Nascente	n.d	n.d	n.d	1410	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	6
80	Ferraria I	20-04-1932	SMG_SC	Poço de Maré	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	7
81	Ferraria II	28-07-2009	SMG_SC	Nascente	1020	>2000	982	280	11	26,3	81,5	29,1	0,51	0,62	<5	133	103	0,27	106	<2	1
82	Ferraria III (AC2)	06-12-2002	SMG_SC	Furo	780	n.d	3020	1000	n.d	60	<40	12	15	n.d	3	32	175	1,3	n.d	n.d	5b
83	Ferraria IV (AC3)	30-09-2010	SMG_SC	Furo	1060	>2000	3050	290	61,3	29,6	57,6	25,4	0,28	7,46	<5	41	166	0,44	66,8	<2	1
84	Mosteiros	23-08-2010	SMG_SC	Nascente	325	>200	11,2	160	3,1	7,5	19,7	14,5	0,07	0,106	<0,5	108	18,4	0,24	<0,2	<0,2	1
85	São Lázaro	27-07-2009	SMG_SC	Nascente	181	>1000	10,1	130	15	13,1	25,5	8,3	0,64	0,135	<3	112	14,8	0,09	37	<1	1
86	Poio Moreno	13-07-2010	FLO	Nascente	30	>200	137	270	38	29,5	2	0,6	0,35	0,355	<0,5	28	2,11	0,06	<0,2	<0,2	1
87	Lajedo	12-07-2010	FLO	Nascente	55	>200	266	470	232	27,2	4,3	1,7	0,4	0,272	<0,5	57	4,87	0,1	0,2	<0,2	1
88	Silveira (Pico)	19-07-2010	PIC	Poço de Maré	6	189	14,8	130	6,9	139	14,3	3,4	0,89	0,081	<0,5	330	1,09	0,12	0,5	<0,2	1
89	Santo Amaro	15-01-1982	PIC	Nascente	9,9	670,1	10	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	<5	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	8
90	Capelo AC4	20-07-2010	FAI	Furo	214	>1000	117	160	10,7	>1250	78	15	1,75	0,7	<3	40	61,4	0,49	2,3	<1	1
91	Varadouro PS4	20-07-2010	FAI	Furo	33	994	1740	9170	21	556	7,4	19,2	0,43	10,5	<3	35	7,39	0,13	<1	<1	1
92	Fajã	15-08-1996	FAI	Nascente	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	9
93	Fajã dos Vimes I	26-07-2010	SJ	Nascente	<1	113	142	100	4,9	19,8	2,4	1,1	0,51	0,349	<0,5	104	0,26	0,13	0,3	<0,2	1
94	Fajã dos Vimes II	26-07-2010	SJ	Nascente	<1	110	103	240	3,8	28,7	2	0,8	0,49	0,184	0,8	69	0,26	0,08	<0,2	<0,2	1
95	Fajã dos Vimes III	26-07-2010	SJ	Nascente	<1	110	113	40	5	27,5	1,6	0,4	0,29	0,172	<0,5	197	0,19	0,08	0,3	<0,2	1
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	27-07-2010	SJ	Nascente	3	>200	578	220	10,4	13,9	2,1	2,4	0,19	3,53	<0,5	41	0,94	0,08	0,5	<0,2	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
97	Fajã do Nortezinho	08-01-1969	SJ	Nascente	n.d	n.d	n.d	80	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	10
98	Ponta da Forcada	30-06-1944	SJ	Nascente	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	11
99	Carapacho Nasc	14-04-2010	GRA	Nascente	687	>2000	5,3	180	17,2	20,1	14	16,9	0,49	0,12	<5	44	47,2	0,24	<2	<2	1
100	Carapacho (AC1)	14-04-2010	GRA	Furo	2390	>10000	3120	12100	129	48,3	163	112	0,9	55,2	<30	299	207	1,05	17	<10	1
101	Carapacho (PS1)	14-04-2010	GRA	Furo	450	>10000	1670	3270	85	54,2	73,5	30,6	0,75	8,3	<30	<100	53,3	<0,5	13,5	<10	1
102	Carapacho (PS2)	14-04-2010	GRA	Furo	448	>2000	44,8	150	28	29,4	9,6	7	0,39	0,21	<5	35	28,9	0,31	2,6	<2	1
103	Carapacho (PS3)	14-04-2010	GRA	Furo	860	8310	1530	<500	66,5	39,2	24,5	40	0,8	5,95	<30	<100	64,9	0,6	<10	<10	1
104	Homiziados I	16-08-2010	GRA	Nascente	2080	>10000	1480	1710	166	<30	74	43,6	<0,5	18,4	<30	<100	300	0,6	<10	<10	1
105	Homiziados II	30-06-2005	GRA	Nascente	150	n.d	89	400	73	20	38	159	<2	0,27	15	<20	1	<0,3	n.d	n.d	3a
106	Corelas	29-06-2005	GRA	Furo	50	204	14700	5300	197	1820	6	12	531	3,9	2,1	<20	<0,3	0,2	n.d	n.d	3a
107	Pontal	16-08-2010	GRA	Furo	56	>1000	12,2	80	22,9	9,6	3,5	<2	0,14	0,188	<3	<10	5,1	<0,05	1,7	<1	1
108	Serreta II	18-08-2010	TER	Nascente	95	>2000	357	350	15,5	17	25,6	49	<0,1	10,4	<5	1840	13,6	0,11	9,1	<2	1
109	Água Santa	19-08-2010	TER	Nascente	36	>200	59,8	20	1,1	27,5	3,3	1,3	0,11	0,031	<0,5	24	2,56	0,1	0,3	<0,2	1
110	Silveira Ter	19-08-2010	TER	Nascente	39	675	0,7	<50	2,8	6	5,5	<2	0,1	0,045	<3	11	10,3	<0,05	<1	<1	1
111	Bravio	19-08-2010	TER	Nascente	41	907	1,8	60	3,5	6,4	8,3	1,6	0,09	0,04	<3	11	12,5	0,05	<1	<1	1
112	Tomo do Porto	19-08-2010	TER	Nascente	6	24,8	8,6	130	0,8	4.6	1,4	<0,3	0,13	0,022	<0,5	22	7,66	0,03	0,3	<02,	1
113	Biscoito Bravo	19-08-2010	TER	Nascente	7	33,9	8,6	160	0,6	5,4	1,1	<0,3	0,11	0,015	<0,5	22	9,25	0,02	<0,2	<0,2	1
114	Negrito	21-04-2010	TER	Nascente	54	2170	60,3	1030	11,5	38,5	<10	<20	1,35	<0,3	<30	<100	7,55	<0,5	<10	<10	1
115	Serreta I (antiga)	31-07-1920	TER	Nascente	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	12
116	Furo de Angra	20-07-1995	TER	Furo	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	13
117	Termas Romanas	03-11-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	723	140	>400	21,3	5,6	2,3	0,16	0,389	<0,5	20	116	0,02	0,4	<0,2	1
118	Cabreroá	28-10-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	48,8	1620	187	14,9	6,1	1,9	0,23	0,072	<0,5	391	75,4	0,09	<0,2	<0,2	1
119	Sousas	28-10-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	70,9	410	153	61,1	5,2	1,1	0,09	0,199	<0,5	399	22,3	0,04	<0,2	<0,2	1
120	Fontenova	28-10-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	32,1	1260	163	5,9	6,5	1,5	0,1	0,102	<0,5	97	36,2	0,08	<0,2	0,2	1

Ref.	Local de Recolha	data	Island Refª	Tipo Emergência	Li (µg/L)	Sr (µg/L)	Mn (µg/L)	Fe (µg/L)	Ba (µg/L)	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Ni (µg/L)	Pb (µg/L)	Co (µg/L)	Cr (µg/L)	AL (µg/L)	As (µg/L)	Cd (µg/L)	Se (µg/L)	Hg (µg/L)	Referência Bibliográfica
121	Fonte Sapo I	29-10-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	45,2	210	138	1,8	2,9	0,5	0,22	0,014	<0,5	25	84,3	0,07	<0,2	<0,2	1
122	Fonte Sapo II	29-10-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	41,4	120	164	6,7	4	0,6	0,14	0,02	<0,5	200	45,8	0,01	<0,2	0,2	1
123	Facha	02-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	23,4	580	135	2,6	5,5	0,8	0,09	0,018	<0,5	24	16,2	0,05	<0,2	<0,2	1
124	Filha da Facha	02-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	68,6	1060	63,6	3	6,2	3	0,09	0,226	4	10	35,3	0,01	<0,2	<0,2	1
125	Água Férrea Eiras	02-11-2010	TRAS	Nascente	41	65,1	164	2490	50	5,4	0,8	1,1	0,26	0,151	<0,5	21	24,3	0,09	<0,2	<0,2	1
126	Termas Chaves AC1	03-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	49,7	70	>400	23,2	5,6	2,7	0,06	0,817	<0,5	7	127	0,06	0,2	<0,2	1
127	Termas Chaves AC2	03-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	16,1	50	>400	2,8	6,2	1,6	0,19	0,031	<0,5	13	56,9	0,06	<0,2	<0,2	1
128	Cadelinas Nasc	06-11-2010	TRAS	Nascente	>400	>200	27,7	50	125	1,5	4,5	0,7	0,05	0,034	<0,5	18	7,73	0,05	<0,2	0,3	1
129	Caldelinhas Furo 1	06-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	45,6	120	109	3,9	4,9	1,7	0,07	0,36	<0,5	19	2,76	0,03	<0,2	0,3	1
130	Caldelinhas Furo 2	06-11-2010	TRAS	Furo	>400	>200	30,7	40	113	5,3	4,9	1	0,08	0,307	<0,5	69	3,68	0,03	0,3	0,3	1

Referências Bibliográficas: 1 - Recursos Hidrominerais dos Açores: Hidrogeologia e Avaliação do potencial sócio-económico (2013); 2 - Herculano, A.C. (1955): Autor da analise: Herculano Carvalho em 1953; 3a - Projecto HIROVULC (2005); 3b - Projecto HIROVULC (2006); 4 - Estudo dos Recursos Hidrícos subterrâneos da ilha de São Miguel- Açores (1999): Autor da analise: I.G.M (1996); 5a - Cabral, M. (1999); 5b - Cabral, M. (2002); 6 - Bensaude, A. (1939): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932. Lepierre, C. (1939); 7 - Accioaiuoli (1940): Autor da analise: Charles Lepierre em 1932; 8 - Demande et al (1982); 9 - Coutinho, R. (2000); 10 - Forjaz, V.H. e Fernandes, N. (1975); 11 - Accioaiuoli (1946): Autor da analise: Herculano de Carvalho em 1944; 12 - I.S.T. (1920); 13 - Lobo, M.A. (1995).

ANEXO VI – ÍNDICES DE SATURAÇÃO RELATIVOS ÀS FASES MINERAIS INVESTIGADAS PELO PROGRAMA PHREEQC INTERACTIVE

			Designação do Mineral													
Referência	**Designação**	**Ilha**	**Quartzo**	**Calcedónia**	**Sílica amorfa**	**Calcite**	**Dolomite**	**Anortite**	**Albite**	**K-mica**	**K-feldspato**	**Caulinite**	**Montmorilonite-Ca**	**Illite**	**Gesso**	**Fluorite**
1	Miguel Henriques	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
2	Água Prata	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
3	Caldeirão	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
4	Água Azeda	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
5	Água Azeda Rebentão	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
6	Água do Rego	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
7	Terra Nostra I	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
8	Terra Nostra II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
9	Terra Nostra III	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
10	Caldeira Grande	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ns
11	Caldeira Asmodeu	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	-	ns	ss	ss	ss	ss	ss	-	ns	ns
12	Quenturas I	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
13	Quenturas II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
14	Quenturas III	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
15	Caldeira Lagoa Furnas	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
16	Gloria Patri	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
17	Torno	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
18	Grutinha I	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
19	Grutinha II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
20	Água Poça	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
21	Morangueira	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
22	Banhos Férreos I Balneário	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
23	Banhos Férreos I Nascente	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
24	Banhos Férreos II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns

			Designação do Mineral													
Referência	**Designação**	**Ilha**	**Quartzo**	**Calcedónia**	**Sílica amorfa**	**Calcite**	**Dolomite**	**Anortite**	**Albite**	**K-mica**	**K-feldspato**	**Caulinite**	**Montmorilonite-Ca**	**Illite**	**Gesso**	**Fluorite**
25	Banhos Férreos III	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
26	Banhos Férreos IV	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
27	Água Férrea	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
28	Ponte	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
29	Água da Helena	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
30	Valério I	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
31	Valério II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
32	Dr. Bruno	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
33	Sanguinhal	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
34	Serra do Trigo	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
35	Padre José	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
36	Caldeira do Esguicho	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ns
37	Água Santa	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
38	Dr. Diniz	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
39	Tio José Sousa	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
40	Caldeira dos Vimes	SMG _ FUR	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
41	Caldeira dos Tambores	SMG _ FUR	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns
42	Banhos dos Cabaços	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
43	Caldeira dos Inhames	SMG _ FUR	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
44	Água da Nora	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
45	Camarça	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
46	Caldeiras Barrentas	SMG _ FUR	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
47	Ribeira Quente I	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
48	Ribeira Quente II	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns

			Designação do Mineral													
Referência	**Designação**	**Ilha**	**Quartzo**	**Calcedónia**	**Sílica amorfa**	**Calcite**	**Dolomite**	**Anortite**	**Albite**	**K-mica**	**K-feldspato**	**Caulinite**	**Montmorilonite-Ca**	**Illite**	**Gesso**	**Fluorite**
49	Ribeira Quente III	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
50	Azeda Ribeira Fogo	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ss
51	Água Alcântara	SMG _ FUR	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
52	Água Azeda da Povoação	SMG_ POV	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	-
53	Porto Formoso I	SMG_FOG	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	-
54	Porto Formoso II	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
55	Porto Formoso III	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
56	Porto Formoso IV	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
57	Ladeira Velha	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
58	Ladeira Velha Férrea	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
59	Ribeira das Gramas	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns
60	Lombadas	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
61	Lombadas Furo I	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	
62	Lombadas Furo II	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
63	Lombadas "Doce "	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
64	Lombadas II	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
65	Fumarola R.G.	SMG_FOG	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
66	Caldeira Grande R.G.	SMG_FOG	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
67	Caldeira Pequena R.G.	SMG_FOG	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
68	Pocinha	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ns	ns	-
69	Caldeira Velha Nascente	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
70	Caldeira Velha Fumarola	SMG_FOG	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
71	Magarça	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ss	-
72	Pico Alto	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	-

			Designação do Mineral													
Referência	**Designação**	**Ilha**	**Quartzo**	**Calcedónia**	**Sílica amorfa**	**Calcite**	**Dolomite**	**Anortite**	**Albite**	**K-mica**	**K-feldspato**	**Caulinite**	**Montmorilonite-Ca**	**Illite**	**Gesso**	**Fluorite**
73	Monte Gordo	SMG_FOG	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	FC1_Vieira e Vieira	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
75	FC2_Bel Portugal	SMG_FOG	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
76	FC3_Agro Vieiras	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
77	FC4_Insulac	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
78	FC6_ Monte dos Frades	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
79	Azeda dos Castelinhos	SMG_FOG	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
80	Ferraria I	SMG_SC	ss	ss	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
81	Ferraria II	SMG_SC	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
82	Ferraria III (AC2)	SMG_SC	ss	ss	ss	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
83	Ferraria IV (AC3)	SMG_SC	ss	ss	ss	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
84	Mosteiros	SMG_SC	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
85	São Lázaro	SMG_SC	ss	ss	ss	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
86	Poio Moreno	FLO	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
87	Lajedo	FLO	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
88	Silveira (Pico)	PIC	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
89	Santo Amaro	PIC	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns
90	Capelo AC4	FAI	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
91	Varadouro PS4	FAI	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
92	Fajã	FAI	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
93	Fajã dos Vimes I	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	-
94	Fajã dos Vimes II	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns
95	Fajã dos Vimes III	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ss	ss	ns	-
96	Azeda Caldeira Stº. Cristo	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ss

			Designação do Mineral													
Referência	**Designação**	**Ilha**	**Quartzo**	**Calcedónia**	**Sílica amorfa**	**Calcite**	**Dolomite**	**Anortite**	**Albite**	**K-mica**	**K-feldspato**	**Caulinite**	**Montmorilonite-Ca**	**Illite**	**Gesso**	**Fluorite**
97	Fajã do Nortezinho	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	ns
98	Ponta da Forcada	SJ	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
99	Carapacho Nasc	GRA	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
100	Carapacho (AC1)	GRA	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
101	Carapacho (PS1)	GRA	ss	ss	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
102	Carapacho (PS2)	GRA	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
103	Carapacho (PS3)	GRA	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
104	Homiziados I	GRA	ss	ss	ss	ss	ss	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
105	Homiziados II	GRA	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
106	Corelas	GRA	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
107	Pontal	GRA	ss	ss	ss	ns	ns	-	-	-	-	-	-	-	ns	-
108	Serreta II	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
109	Água Santa	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ns	ns
110	Silveira Ter	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
111	Bravio	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	-
112	Tomo do Porto	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
113	Biscoito Bravo	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns
114	Negrito	TER	ss	ss	ss	ns	ns	ns	-	-	-	-	-	-	ns	-
115	Serreta I (antiga)	TER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	Furo de Angra	TER	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Legenda: ss – Sobresaturado e ns – Subsaturado