

Águas minerais
da
Ilha de São Miguel(Açores):
Caracterização hidrogeológica e implicações para a monitorização vulcanológica



Pedro Artur Teles Freire



DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES

2006

PEDRO ARTUR TELES FREIRE

**ÁGUAS MINERAIS DA ILHA DE SÃO MIGUEL
(AÇORES):**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E IMPLICAÇÕES PARA A
MONITORIZAÇÃO VULCANOLÓGICA**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2006**

PEDRO ARTUR TELES FREIRE

**ÁGUAS MINERAIS DA ILHA DE SÃO MIGUEL
(AÇORES):**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E IMPLICAÇÕES PARA A
MONITORIZAÇÃO VULCANOLÓGICA**

ORIENTADOR:

PROFESSOR DOUTOR JOSÉ VIRGILIO CRUZ



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DOS AÇORES
2006**

À minha família

“Percebi então que, se quero falar com as outras pessoas, tenho de usar os símbolos normais, pelo que acabei por desistir dos meus símbolos”

(Feynman, 1998).

ÍNDICE

ÍNDICE	I
LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VI
AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento e objectivos	1
1.2. Predição Vulcânica	2
1.2.1. As técnicas de Monitorização Vulcânica	4
1.2.2. Monitorização Geoquímica	5
1.2.3. Monitorização Hidrogeoquímica	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	9
2.1. Enquadramento Geográfico	9
2.2. Enquadramento Geoestrutural	11
2.3. Enquadramento Geomorfológico e Geológico	15
2.3.1. Complexo Vulcânico das Sete Cidades	16
2.3.2. Complexo Vulcânico do Fogo	18
2.3.3. Complexo Vulcânico das Furnas	20
2.3.4. Complexo Vulcânico da Povoação	23
2.3.5. Complexo Vulcânico dos Picos	24
2.3.6. Complexo Vulcânico do Nordeste	26
2.4. Enquadramento Hidrogeológico	29
3. ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DE S. MIGUEL	34
3.1. Distribuição	34
3.1.1. Contexto Geomorfológico e Vulcanológico	39
3.1.2. Contexto Hidrogeológico	41
4. RECOLHA E VALIDAÇÃO DE DADOS HIDROGEOQUÍMICOS HISTÓRICOS	44
5. BASE DE DADOS HYDROVULC	69
5.1. Estrutura	72
5.2. Compilação e Tratamento da Informação	74
6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DE SÃO MIGUEL	94
6.1. Parâmetros Físico-Químicos	96
6.2. Elementos Maiores: Catiões	101
6.3. Elementos Maiores: Aniões	105
6.4. Outros Constituintes	108
6.4.1. Elementos menores e em traço	108
6.4.2. Sílica (SiO ₂)	113
6.5. Fácies Hidrogeoquímica	117
6.5.1. Sistema Aquífero Furnas-Povoação	118

6.5.2. Sistema Aquífero Água de Pau	118
6.5.3. Sistema Aquífero Sete Cidades	119
6.5.4. Ilha de São Miguel.....	119
6.6. Índices de Saturação.....	121
6.7. Processos Hidrogeoquímicos	125
6.8. Monitorização hidrogeoquímica	137
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
BIBLIOGRAFIA.....	156
ANEXOS	
ANEXO I – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA).....	A-1
ANEXO II – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO E VULCANOLÓGICO).....	A-6
ANEXO III – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO HIDROGEOLOGÍCO).....	A-11
ANEXO IV – BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS MAIORES E OUTROS CONSTITUINTES	A-16
ANEXO V – BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS MENORES	A-20
ANEXO VI – DIAGRAMAS DE PIPER E DE SHOELLER.....	A-24
ANEXO VII – ÍNDICES DE SATURAÇÃO RELATIVOS ÀS FASES MINERAIS INVESTIGADAS PELO PROGRAMA HIDSPEC	A-29
ANEXO VIII – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DO LOG(IS), RELATIVAMENTE ÀS QUINZE ESPÉCIES DE MINERAIS INVESTIGADAS PELO PROGRAMA HIDSPEC, EM FUNÇÃO DO PH DAS ÁGUAS MINERAIS PARA A ILHA DE SÃO MIGUEL	A-33
ANEXO IX – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: FUMAROLA DA RIBEIRA GRANDE	A-39
ANEXO X – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: LADEIRA VELHA	A-43
ANEXO XI – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: LOMBADAS	A-49
ANEXO XII – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: ÁGUA AZEDA	A-56
ANEXO XIII – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: CALDEIRA GRANDE.....	A-63
ANEXO XIV – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: CALDEIRA DA LAGOA DAS FURNAS ...	A-69
ANEXO XV – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA: TORNO	A-74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1

Técnicas de monitorização vulcânica, (adaptado de Trota, 2002).

Figura 1.2

Monitorização hidrogeoquímica em regiões com vulcanismo activo (McGuire, 1992 *in* McGuire, 1995).

Figura 2.1

Localização geográfica do arquipélago dos Açores (*in* Martins *et al.*, 2002).

Figura 2.2

A Plataforma dos Açores (adaptado de Needham e Francheteau, 1974, *in* Queiroz, 1990).

Figura 2.3

Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMO – Crista Médio-Atlântica; EAFZ – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – *Rifte* da Terceira; FG – Falha da Glória (adaptado de Laughton e Whitmarsh, 1974 *in* Ferreira, 2000).

Figura 2.4

Carta de Sismicidade dos Açores, no período de 1980 a Junho de 2006 (SIVISA, 2006), onde estão representados os epicentros de todos os sismos localizados.

Figura 2.5

Principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel (dados de Forjaz, 1986 e de Gaspar *et al.* 1995 *in* Ferreira, 2000).

Figura 2.6

Unidades geomorfológicas da ilha de São Miguel de acordo com Zbyszewski (1961).

Figura 2.7

Carta Vulcanológica da ilha de São Miguel (adaptado de Forjaz, 1984, *in* França *et al.*, 2003)

Figura 2.8

Localização das unidades geomorfológicas dos Vulcões do Fogo e das Furnas. A área adjacente aos dois vulcões, designada por Achada das Furnas, insere a região da Lagoa do Congro (adaptado de Wallenstein, 1999, *in* Silva, 2004).

Figura 2.9

Mapa morfoestrutural do Complexo Vulcânico das Furnas (adaptado de Gaspar *et al.*, 1995).

Figura 2.10

Limites do Complexo Vulcânico dos Picos de acordo com Ferreira (2000).

Figura 2.11

Esboço esquemático das principais geoestruturas da Região dos Picos. (Ferreira, com. pess., 2004).

Figura 2.12

Análise geomorfológica com base no modelo tridimensional do terreno da área Povoação – Nordeste, onde se pode observar aspectos da morfologia. A verde encontram-se os limites de estruturas vulcânicas, como as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e os domos associados às erupções de 1439/43 no Pico do Gaspar e de 1630, bem como alguns cones de escórias, e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais. A vermelho encontram-se todos os lineamentos deduzidos da análise do MDT (Carmo, 2004).

Figura 2.13

Sistemas Aquíferos da ilha de São Miguel (Cruz, 2001).

Figura 3.1

Localização geográfica dos pontos de água mineral segundo os limites administrativos (concelhos).

Figura 3.2

Localização geográfica dos pontos de água mineral no concelho da Povoação.

Figura 3.3

Localização geográfica dos pontos de água mineral nos concelhos da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo.

Figura 3.4

Localização geográfica dos pontos de água mineral no concelho de Ponta Delgada.

Figura 3.5

Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Complexos Vulcânicos.

Figura 3.6

Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas Aquíferos na ilha de São Miguel.

Figura 3.7

Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas de Aquíferos.

Figura 3.8

Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Ocorrência.

Figura 3.9

Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Aquífero.

Figura 4.1

Composição química quantitativa da nascente Padre José (Fouqué, 1873).

Figura 4.2

Capa de publicação sobre a Água das Lombadas (Freire, 1904).

Figura 4.3

Temperatura das águas minerais das Furnas (São Miguel - Açores) (Chaves, 1906).

Figura 4.4

Composição química quantitativa da nascente das Quenturas (Lepierre, 1917).

Figura 4.5

Classificação geral das águas das Furnas segundo Charles Lepierre, (Lepierre, 1917).

Figura 5.1

Composição química da Água Azeda determinada em 1825, por Mouzinho Albuquerque e Pitta Menezes (1826).

Figura 5.2

Análise química da nascente das Quenturas efectuada por Fouqué (1873).

Figura 5.3

Análise quantitativa da água mineral das Lombadas (São Miguel - Açores), por Riche & Bardy (1888).

Figura 5.4

Análise físico-química da água da Ladeira da Velha datada de 1899, em Arruda & Cabral (1911).

Figura 5.5

Análise química da água da Serra do Trigo datada de 1900 e da autoria de Hugo Mastbaum, de acordo com Oliveira (1921).

Figura 6.1

Relação entre as concentrações de sódio e do cloreto nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.2

Relação entre a condutividade eléctrica e a concentração de cloreto nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.3

Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.4

Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.5

Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicarbonato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.6

Relação entre a condutividade eléctrica e a concentração de sulfato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Figura 6.7

Relação entre as concentrações em cloreto e em sulfato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1

Compostos magmáticos / compostos influenciados pela actividade vulcânica (adaptado de Oskarsson, 1996).

Tabela 3.1

Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

Tabela 3.2

Dados altimétricos.

Tabela 3.3

Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Complexos Vulcânicos.

Tabela 3.4

Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas de Aquíferos.

Tabela 3.5

Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Ocorrência.

Tabela 3.6

Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Aquífero.

Tabela 6.1

Parâmetros físico-químicos: temperatura (°C); condutividade (µS/cm); pH; alcalinidade (mg/L); CO₂ livre (mg/L).

Tabela 6.2

Elementos maiores: cátions (sódio; potássio; cálcio; magnésio) (mg/L).

Tabela 6.3

Elementos maiores: aniões (sulfato; cloreto; bicarbonato) (mg/L).

Tabela 6.4

Elementos menores e em traço (boro; alumínio; ferro; lítio; manganês; estrôncio; chumbo; zinco; crómio; níquel; arsénio; mercúrio; cobre; cádmio e bromo) (µg/L).

AGRADECIMENTOS

A publicação desta dissertação só foi possível com a colaboração de diversas pessoas e entidades. Manifesto aqui o meu reconhecimento e agradecimento de forma especial:

- ao Magnífico Reitor da Universidade dos Açores que permitiu a realização do mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos;

- ao meu orientador Prof. Doutor José Virgílio Cruz, pela sugestão do tema deste trabalho, pelos ensinamentos no domínio da hidrogeoquímica, pela sua disponibilidade, apesar dos seus afazeres profissionais, bem como pelas sugestões sobre o modo de organizar o presente documento;

- 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;

- ao Prof. Doutor João Luís Gaspar, ex-Director do Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, pelas suas enormes capacidades demonstradas ao longo do mestrado ao nível científico e pedagógico;

- à anterior Directora de Departamento, Prof. Doutora Teresa Ferreira, e ao actual director, Prof. Doutor José Pacheco, pelas facilidades concedidas na concretização deste trabalho;

- ao actual coordenador do grupo da hidrogeoquímica Prof. Doutor Rui Moreira S. Coutinho, pela sua disponibilidade em prestar informações e esclarecimentos sobre a geologia da ilha de S. Miguel e pela cooperação, incentivo e amizade;

- a todos os docentes deste curso de mestrado pela sua paciência, apoio, estímulo e disponibilidade demonstrada ao longo do mesmo;

- ao colega e amigo Paulo Antunes, pela sua colaboração na organização e na implementação dos levantamentos de campo;

- 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 Sílvia Botelho 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;

- aos funcionários da Biblioteca da Universidade dos Açores, da Biblioteca Pública e Arquivo Regional de Ponta Delgada, da Biblioteca do Museu Carlos Machado e da Biblioteca do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação pelo auxílio prestado.

- à Ana Sancho pela preciosa ajuda, quer ao nível informático, quer ao nível gráfico, de forma a valorizar ao máximo o presente trabalho;

- aos meus colegas e amigos de mestrado, Andrea Costa, Catarina Silva, Filomena Rebelo e Goretti Lameiras, pelos vários momentos de trabalho e partilha de conhecimentos, mas sobretudo pelo seu carinho, amizade e incentivo;

- às minhas colegas Fátima Viveiros e Rita Rodrigues pela sua colaboração

- ao Engenheiro José Maria Cimbron e família, pela forma gentil e amigável como me receberam;

- ao Engenheiro Abel Valério por toda a informação fornecida acerca das águas minerais da freguesia das Furnas;

- 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 existência de abundantes recursos hidrominerais, com emergências disseminadas por quase todo o arquipélago, com principal incidência em São Miguel. Estas águas apresentam uma elevada variabilidade de tipos químicos e de magnitude de mineralização, em virtude das influências sofridas até à emergência, e correspondem na maioria a descargas de aquíferos de altitude em vulcões activos. As primeiras referências a estas águas surgem nas primeiras crónicas relativas aos Açores e desde cedo foram utilizadas devido as suas propriedades minero - medicinais.

O ressurgimento da importância dos recursos hidrominerais justifica um esforço redobrado na caracterização dos mesmos e na preservação dos seus dados analíticos para fins científicos. Desta forma o presente trabalho vai ao encontro destas premissas, apresentando a seguinte estrutura:

O primeiro capítulo visa enquadrar teoricamente o tema da vigilância vulcânica, através de uma descrição sumária das respectivas técnicas (geofísicas, geoquímicas e geodésicas). Especial realce é dado à monitorização hidrogeoquímica, com vista à criação de uma linha de base que representa a actividade em dormência dos vulcões em estudo.

O segundo e o terceiro capítulos são dedicados à caracterização da área em estudo e à discussão genérica das descargas minerais disseminadas na ilha de São Miguel, em termos geográficos, vulcanológicos e hidrogeológicos

O quarto capítulo apresenta a recolha e validação efectuada dos dados hidrogeoquímicos históricos, importantes para o conhecimento actual acerca da composição das águas minerais em São Miguel.

O quinto capítulo refere-se ao desenvolvimento de uma base de dados hidrogeoquímicos denominada HYDROVULC. Nele descreve-se a estrutura física da mesma e as dificuldades no tratamento da informação proveniente da exaustiva pesquisa bibliográfica, particularmente ao nível da uniformização da nomenclatura e das unidades dos parâmetros físico-químicos.

Por último, no capítulo seis, abordam-se os resultados analíticos de elementos maiores, menores e em traço em águas minerais na ilha de São Miguel, obtidos nas campanhas de campo que decorreram entre 2005 e 2006, perspectivando-se a identificação dos processos modificadores da composição química. A importância destes resultados para a vigilância vulcânica em São Miguel é discutido através da apresentação de diversos casos de estudo, nomeadamente os pontos de água mineral denominados de Ladeira Velha, Caldeiras da Ribeira Grande, Lombadas, Água Azeda, Caldeira Grande, Caldeira da Lagoa das Furnas e Torno.

ABSTRACT

The volcanic nature of the Azores archipelago explains the occurrence of hydromineral resources, with discharges been observed along the majority of the islands, and especially at São Miguel island. These waters are highly variable regarding the dissolved content and hydrogeochemical types, due to the influence of several geochemical processes through percolation, and are mainly discharges from perched-water bodies at altitude in active volcanoes.

The increasing value of the hydromineral resources justifies the effort in order to characterize water chemistry and to compile all data about chemical composition. The present thesis was made in order to fulfil these requirements and presents the following structure:

The 1st chapter presents a theoretical approach to the volcanic surveillance techniques (geophysical, geochemical and geodetic), given special emphasis toward the hydrogeochemical monitoring, which envisages defining base lines that represents the background activity of the studied volcano.

The 2nd and 3rd chapters are dedicated to the study area setting and to present an general overview of the mineral water discharges spread along São Miguel island.

The 4th chapter presents the survey made in order to collect all geochemical data from historical sources, as a step toward an in depth characterization of the mineral waters chemistry.

The 5th chapter presents the development of a specific hydrogeochemical data base, the so-called HYDROVULC data bank, as well as the effort made in order to homogenise all the collected data.

Finally, in the 6th chapter results from major, minor and trace elements in samples collected along 2005 and 2006 are discussed, in order to characterize the geochemical processes. The use of these data for the volcanic surveillance at São Miguel is presented by means of several case studies, related with the Ladeira Velha, Caldeiras da Ribeira Grande, Lombadas, Água Azeda, Caldeira Grande, Caldeira da Lagoa das Furnas e Torno discharges.

1. INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

As nascentes de águas minerais são ocorrências frequentes em regiões vulcânicas, correspondendo quer a descargas episódicas associadas a eventos eruptivos, quer a emergências relacionadas com sistemas hidrotermais mais ou menos profundos. Em muitos pontos do globo terrestre estas nascentes são exploradas em termas, configurando uma utilização para fins terapêuticos, ou alvo de um aproveitamento industrial por engarrafamento. Outras virtualidades consubstanciam-se na potencial utilização das características destes fluidos no decurso da prospecção de recursos geotérmicos, ou para a realização de observações periódicas no âmbito de programas de monitorização da actividade vulcânica.

Em resultado do peculiar enquadramento geológico e geodinâmico dos Açores, observam-se neste arquipélago numerosas nascentes destas águas, nomeadamente nas ilhas de São Miguel, Terceira, Faial, Pico, São Jorge, Graciosa e Flores, caracterizadas por uma grande variabilidade de tipos químicos e de mineralização.

Neste contexto, os objectivos primordiais da dissertação correspondem a: (1) realização de um inventário das águas minerais de São Miguel, (2) desenvolvimento de uma base de dados hidrogeoquímica, (3) caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica e (4) perspectivar a utilização das características destas águas no âmbito da monitorização vulcanológica.

1.2. PREDIÇÃO VULCÂNICA

Um dos principais objectivos no estudo de vulcões activos consiste na tentativa de predição das erupções; no entanto esta tarefa encontra-se ainda longe de proporcionar uma resposta satisfatória ao problema em questão.

No âmbito da predição vulcânica interessa salientar dois conceitos: a predição geral e a predição específica. A primeira baseia-se no estudo do comportamento passado dos sistemas vulcânicos, nomeadamente através da análise dos seus produtos, traduzindo a magnitude e os estilos eruptivos dos eventos produzidos pelos mesmos. A reconstrução dos eventos e dos comportamentos eruptivos permitem avaliar os tipos de perigos associados a uma possível erupção. Esta avaliação permite delinear zonas de alto risco, assim como, preparar planos de evacuação que podem ser de extrema importância para a protecção civil (Walker, 1974 *in* Trota 2002).

De acordo com Banks *et al.* (1989 *in* Cruz, 2003) na monitorização vulcânica importa desenvolver um conjunto de estudos científicos globais de forma a que se possa registar e analisar, de um modo sistemático, variações visíveis e invisíveis não só no aparelho vulcânico mas também nas suas imediações. Deste modo torna-se possível:

- Definir uma linha de base dos sistemas vulcânicos, possibilitando a identificação de potenciais precursores e indicadores da (re)activação do sistema vulcânico;

- Interpretar os padrões de actividade em períodos de acalmia.

Através do uso de um conjunto diversificado de técnicas é possível quantificar alguns parâmetros físico-químicos que permitem modelar os aparelhos vulcânicos. Entre os parâmetros fundamentais necessários a essa modelação física (Beauducel, 1977 *in* Trota, 2002), destacam-se:

- A geometria do reservatório;
- A conduta magmática;
- O estado físico do magma;
- Mecânica do encaixante;

Com os parâmetros anteriores devidamente quantificados torna-se possível não só prever erupções de um modo fiável e racional, mas também descrever as características da emissão de lava, os volumes emitidos, as variações de regime e a duração da erupção. Uma vez que a caracterização de tais parâmetros é inexequível, torna-se necessário recorrer ao uso de diversas técnicas e metodologias de amostragem de várias disciplinas científicas associadas à fenomenologia vulcânica, tais como a Petrologia, a Geofísica, a Geodesia e a Geoquímica, com vista à obtenção de medidas directas e indirectas que possibilitem avaliar, com maior ou menor fiabilidade, a proximidade a esses parâmetros.

1.2.1. As Técnicas de Monitorização Vulcânica

As técnicas de monitorização vulcânica envolvem um conjunto alargado de medições, algumas das quais exigem processos laboratoriais demorados enquanto outras proporcionam resultados instantâneos. Os dados que se obtêm permitem a correlação dos fenómenos internos e externos do sistema. É de salientar que individualmente não existe nenhum método/técnica de monitorização que permita a predição vulcânica. Neste contexto é a reunião de todas as informações credíveis sobre o sistema vulcânico (monitorização multiparamétrica) que constitui a base da predição vulcânica (Fig. 1.1 Trota, 2002).

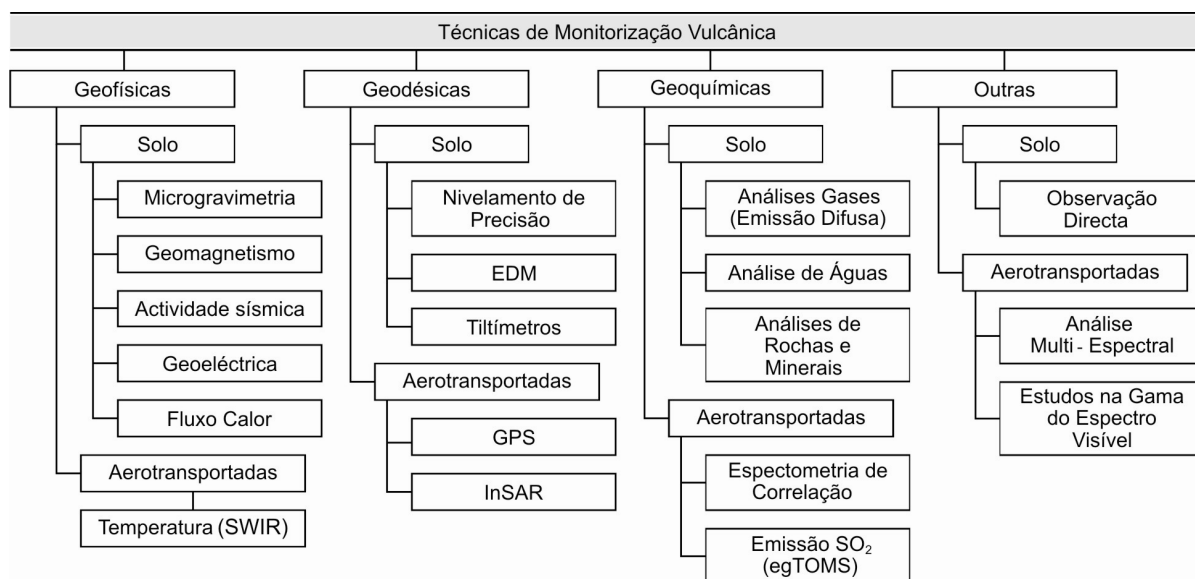


Figura 1.1 - Técnicas de monitorização vulcânica, (adaptado de Trota, 2002).

1.2.2. Monitorização Geoquímica

A monitorização geoquímica tem evoluído ao longo dos últimos anos para que seja possível, como já se referiu, definir uma linha de base para cada vulcão, de modo a prever erupções quando se verificarem valores anómalos. Contudo, essa evolução tem sido lenta quando comparada com os métodos geofísicos devido a vários constrangimentos, tais como: o acesso difícil aos locais de amostragem devido à topografia acidentada ou no decurso de uma erupção; a destruição dos instrumentos de registo, quer durante a erupção, quer nos períodos de repouso, e a validação dos dados colectados quando comparados com outras medições, caso por exemplo com informação sismológica (Cioni & Taddeucci, 1994).

Neste tipo de monitorização investigam-se as variações nas composições dos fluidos, quer emitidos directamente pelo vulcão, quer em nascentes e fumarolas situadas marginalmente ao centro eruptivo, pesquisando-se alterações nos elementos e nas razões químicas consideradas como possuindo uma assinatura vulcânica (Trota, 2002).

Deve ter-se em conta as dificuldades de interpretação resultantes do carácter reactivo dos fluidos. Contudo, apesar das dificuldades apresentadas, a monitorização geoquímica é muito importante como parte de qualquer estratégia de monitorização, pois tem-se revelado um complemento indispensável para se conhecer o modo do funcionamento dos vulcões (Allard, 1994 *in* Faria, 2002).

Nos últimos anos, a automatização dos sistemas de aquisição de dados geoquímicos tem vindo a crescer a um ritmo bastante acelerado. Deste modo, além dos

processos discretos de colheita e análise de fluidos, dentro e nas proximidades do vulcão, utilizando métodos tradicionais, têm vindo a ser instalados equipamentos de monitorização contínua e com transmissão de dados por telemetria em locais apropriados (fumarolas, nascentes, sulfataras, etc.) (Trota, 2002).

1.2.3. Monitorização Hidrogeoquímica

Numa região vulcânica faz todo o sentido investir na monitorização hidrogeoquímica para permitir que se estabeleçam critérios e metodologias, criando assim, uma linha de base que permita a construção de modelos.

Para que seja possível a monitorização dos fluxos de componentes vulcânicos presentes na água é fundamental desenvolver estudos que visem caracterizar detalhadamente os parâmetros hidrogeológicos clássicos dos sistemas água/rocha (Oskarsson, 1996). Esses estudos devem cobrir não só os processos associados aos sistemas vulcânico e hidrotermal, mas também a avaliação dos processos não vulcânicos, nomeadamente as nascentes francamente mineralizadas e de circulação meteórica superficial (Cruz *et al.*, 1999).

Para se efectuar a monitorização vulcânica recorrendo à hidrogeoquímica é necessário, em primeiro lugar, realizar um estudo hidrogeológico geral do sistema vulcânico em causa. Nesta etapa é sempre necessário realizar um inventário detalhado de pontos de água, nomeadamente poços, furos, nascentes, lagoas, rios, entre outros.

O passo seguinte será modelar o sistema aquífero vulcânico com o intuito de se poder avaliar e decidir quais os pontos de água que serão monitorizados. A figura 1.2 exemplifica alguns dos possíveis pontos a monitorizar num sistema vulcânico.

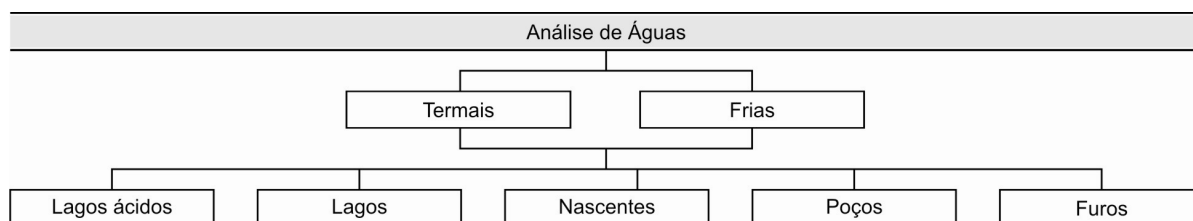


Figura 1.2 – Monitorização hidrogeoquímica em regiões com vulcanismo activo (McGuire, 1992 *in* McGuire, 1995).

A monitorização hidrogeoquímica é classificada como pontual, quando se realizam campanhas de recolha de amostras em determinados momentos. Quando são instaladas estações que medem e/ou registam um conjunto de parâmetros ao longo do tempo e, de modo permanente ou cíclico, com períodos pré-definidos, a monitorização hidrogeoquímica é classificada como contínua (Cruz, 1997).

Numa primeira fase determinam-se os níveis base da composição química da água para uma dada região vulcânica em repouso. Numa segunda fase, viabiliza-se a detecção de qualquer desvio em relação ao nível base, que indicie essa modificação da actividade do vulcão em profundidade (Cruz, 1997).

A determinação de uma linha de base implica a realização análises periódicas e sistemáticas das águas, referentes essencialmente aos parâmetros físico-químicos, como pH, temperatura, e às espécies que são influenciados pela actividade vulcânica do sistema.

Tendo por base as relações similares de volumes de água e de reservatórios magmáticos, é evidente que os componentes do magma, que são transferidos para o sistema de águas subterrâneas, fornecem concentrações de componentes dissolvidos que são da mesma ordem de magnitude dos componentes da desgaseificação do magma.

A tabela 1.1 mostra os compostos que podem influenciar a composição das águas subterrâneas permitindo detectar uma possível alteração do sistema vulcânico.

Compostos magmáticos	Composto influenciados pela actividade vulcânica
CO ₂	CaCO ₃
SO ₂	CaSO ₄
H ₂ S	FeS
HF	CaF ₂
HCl	-

Tabela 1.1 - Compostos magmáticos/compostos influenciados pela actividade vulcânica (adaptado de Oskarsson, 1996).

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O arquipélago dos Açores localiza-se no Oceano Atlântico Norte, entre as latitudes 37° e 40° N e as longitudes 25° e 31° W (Fig. 2.1), 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 – Localização geográfica do arquipélago dos Açores (Martins *et al.*, 2002).

São Miguel, situada entre as latitudes 37°42' e 37°54' e as longitudes 25°51' e 25°08' W, é a maior das nove ilhas do arquipélago dos Açores. Apresenta um comprimento máximo de aproximadamente 65 km e uma largura de cerca de 16 km e ocupa uma área de 746 km² (Wallenstein, 1999).

2.2. ENQUADRAMENTO GEOESTRUTURAL

As ilhas do arquipélago dos Açores distribuem-se pela denominada Plataforma dos Açores, segundo uma direcção WNW-ESSE (Fig. 2.2), a qual se destaca dos fundos oceânicos do Atlântico e é limitada pela curva batimétrica dos 2000 metros (Needham & Francheteau, 1974).

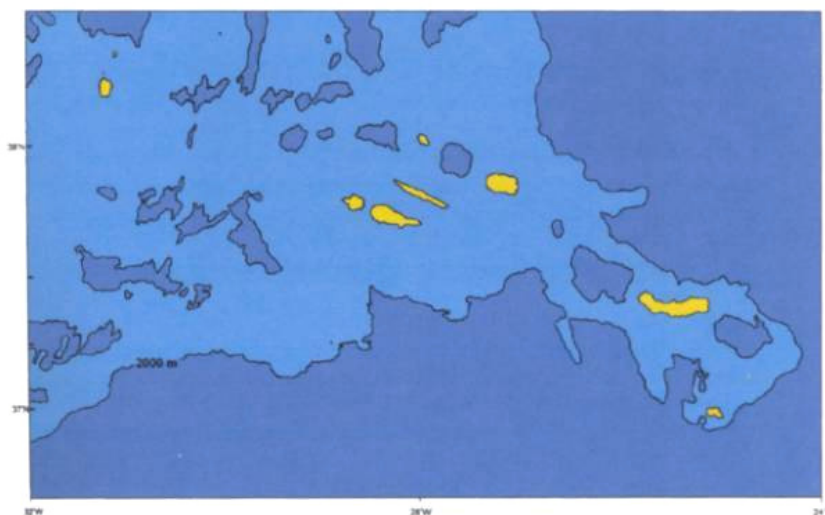


Figura 2.2 - A Plataforma dos Açores (adaptado de Needham e Francheteau, 1974, in Queiroz, 1990).

Sob o ponto de vista geoestrutural, os Açores situam-se na confluência das placas Americana, Euroasiática e Africana, facto que se reflecte na presença de importantes estruturas tectónicas, das quais se salienta a Crista Médio-Atlântica, a Zona de Fractura Este dos Açores e o *Rifte* da Terceira (Fig. 2.3).

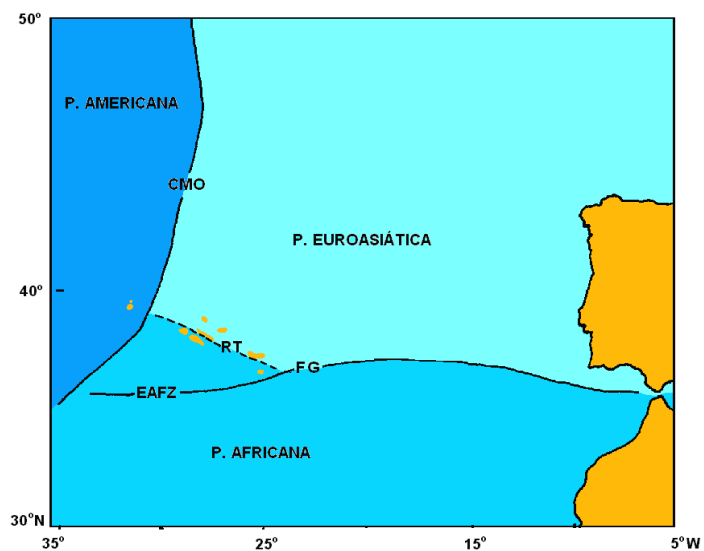


Figura 2.3 - Principais estruturas tectônicas da região dos Açores. Legenda: CMO – Crista Médio-Atlântica; EAFZ – Zona de Fractura Este dos Açores; RT – *Rifte* da Terceira; FG – Falha da Glória (adaptado de Laughton e Whitmarsh, 1974 in Ferreira, 2000).

Consequência do seu enquadramento geodinâmico, a região dos Açores tem registado intensa actividade sísmica (Buforn *et al.*, 1988; Nunes *et al.*, 1992; Nunes e Oliveira, 1997) e importante actividade vulcânica (Weston, 1964; Queiroz *et al.*, 1995; Gaspar, 1996 e Wallenstein, 1999) desde o seu povoamento, em particular ao longo da Crista Médio-Atlântica e do *Rifte* da Terceira (s.l.) (Fig.2.4).

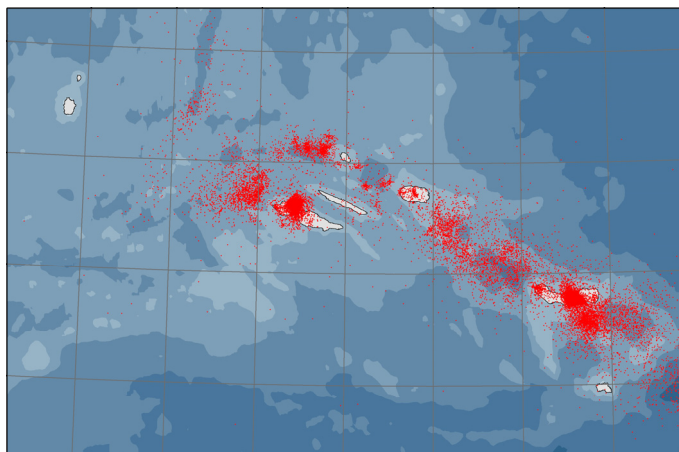


Figura 2.4 - Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a Junho de 2006 (SIVISA, 2006), onde estão representados os epicentros de todos os sismos localizados.

As principais estruturas tectónicas da ilha de São Miguel, seguem o padrão geral da Plataforma dos Açores. Identificam-se estruturas tectónicas de expressão regional e outras de carácter local (Fig. 2.5). No que concerne às de índole regional, parecem existir duas direcções predominantes, a WNW-ESSE e a NW-SE, sendo esta última concordante com a do *Rifte* da Terceira. Relativamente às estruturas de carácter local podem identificar-se as direcções N-S, NE-SW e W-E (Queiroz, 1990; Queiroz, 1997). A orientação E-W corresponde à direcção da Zona de Fractura Este dos Açores e à falha da Glória (Queiroz, 1997).

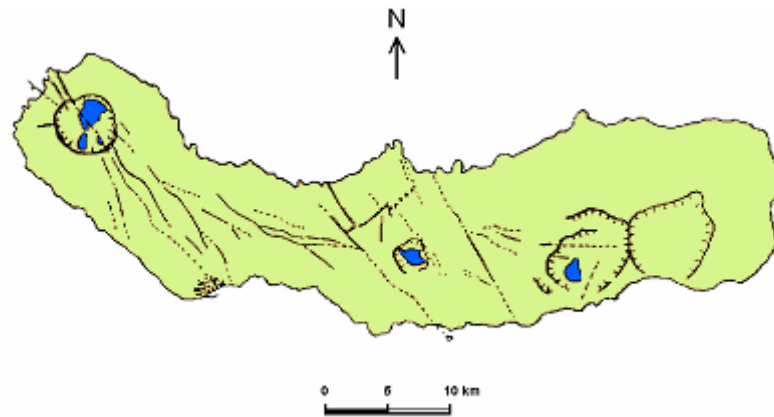


Figura 2.5 - Principais estruturas tectónicas da ilha de S. Miguel (dados de Forjaz, 1986 e de Gaspar *et al.* 1995 *in* Ferreira, 2000).

O *Rifte* da Terceira, com direcção NW-SE, está representado pelos *grabens* dos Mosteiros e Ribeira Grande, assim como por outras inúmeras falhas com esta orientação. As direcções E-W e NE-SW estão, de igual modo, representadas, sendo a primeira dominante na parte oriental da ilha.

2.3. ENQUADRAMENTO GEOMORFOLÓGICO E GEOLÓGICO

Zbyszewski (1961), definiu oito regiões geomorfologicamente distintas para a ilha de São Miguel, nomeadamente, de E para W: a Região da Tronqueira e do Nordeste, a Plataforma Litoral do Norte, o Vulcão da Povoação, o Vulcão das Furnas, o Planalto da Achada das Furnas, o Maciço Vulcânico da Serra de Água de Pau, a Região dos Picos e o Maciço Vulcânico das Sete Cidades (Fig. 2.6).

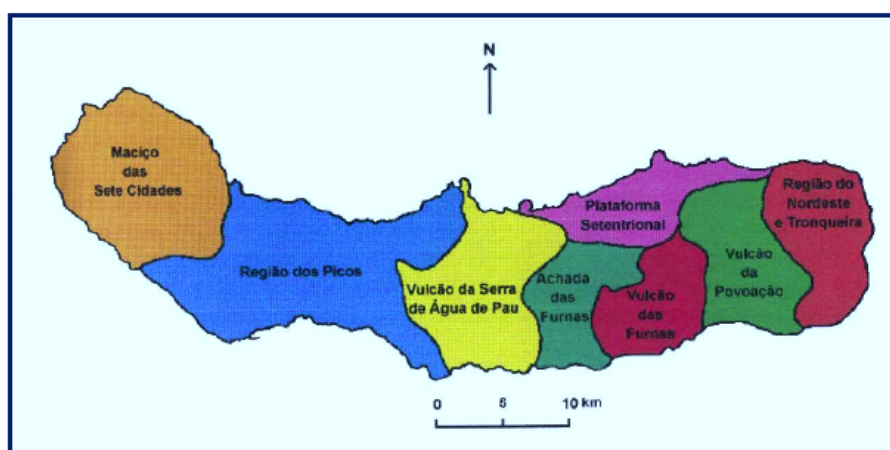


Figura 2.6 - Unidades geomorfológicas da ilha de São Miguel de acordo com Zbyszewski (1961).

De acordo com Forjaz (1999) individualiza a ilha de São Miguel, por ordem cronológica decrescente, as seguintes unidades vulcanoestratigráficas: Complexo Vulcânico do Nordeste, Complexo Vulcânico da Povoação, Complexo Vulcânico das Furnas, Complexo Vulcânico das Sete Cidades, Complexo Vulcânico do Fogo e Complexo Vulcânico dos Picos (Fig.2.7).

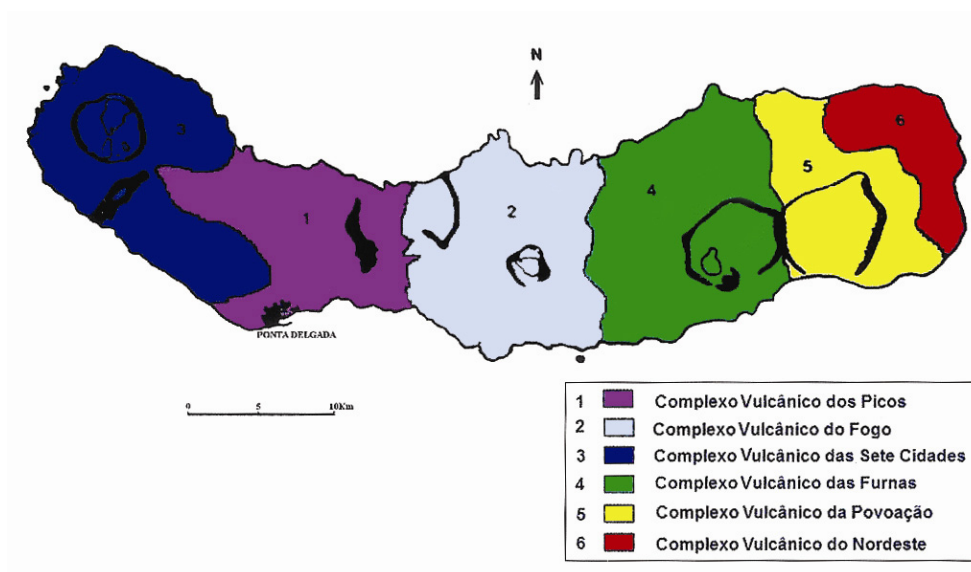


Figura 2.7 - Carta Vulcanológica da ilha de São Miguel (adaptado de Forjaz, 1984, *in* França *et al.*, 2003)

2.3.1. Complexo Vulcânico das Sete Cidades

O Complexo Vulcânico das Sete Cidades domina a extremidade ocidental de São Miguel, abrange uma área com cerca de 12 km de diâmetro basal e apresenta um volume imerso de aproximadamente 45 km³. Na sua maior extensão limitado pelo mar, coalesce a SE com o Complexo Vulcânico dos Picos; os seus contornos geomorfológicos podem definir-se através do prolongamento, para o interior da ilha, da base das arribas costeiras das freguesias das Feteiras, a S, e de Santo António, a N (Queiroz, 1997).

Este aparelho vulcânico, apresenta no topo uma caldeira de forma aproximadamente circular, com 5 km de diâmetro e com paredes que atingem alturas de cerca de 400 metros. A formação desta caldeira ocorreu em três fases distintas, a primeira

das quais há 36 000 anos, e os outros dois eventos mais recentes respectivamente há 29 000 e 16 000 anos.

Os flancos do vulcão central apresentam, geralmente, uma espessa cobertura de materiais piroclásticos, particularmente de natureza pomítica, sendo também possível observar-se alguns cones de escórias e domos traquíticos. No interior da caldeira podem ainda ser observados cones pomíticos, maars e domos traquíticos.

Queiroz (1997) definiu para o vulcão das Sete Cidades duas unidades vulcanológicas principais: O Grupo Inferior e Grupo Superior. O Grupo Inferior, corresponde a uma espessa sequência de escoadas lávicas e depósitos vulcanoclásticos e o Grupo Superior, que pode ser subdividido em seis unidades, agrega os materiais emitidos nos últimos 36 000 anos. Estes últimos estão representados por variados tipos de depósitos piroclásticos de queda e de fluxo, bem como por um menor volume de escoadas lávicas.

As orientações predominantes da estrutura Tectónica neste Complexo Vulcânico correspondem às direcções distintas NW-SE, NE-SW, N-S e E-W. Observam-se, ainda, falhas radiais em torno de todo o complexo e de falhas circulares no interior da caldeira (Queiroz, 1990; Queiroz, 1997). A direcção NW-SE é coincidente com a orientação do *Rifte* da Terceira e é responsável pelo *graben* dos Mosteiros, o qual apresenta escarpas sub verticais superiores a 70 metros de altura. As direcções NE-SW, N-S e E-W apresentam menor expressão. Segundo Queiroz (1997) parece existir uma relação entre a localização do vulcão central e a zona de intersecção de estruturas tectónicas de direcção NW-SE e E-W.

2.3.2. Complexo Vulcânico do Fogo

O Complexo Vulcânico do Fogo corresponde a um estratovulcão, localizado na zona central da ilha de São Miguel inserindo-se na unidade geomorfológica do Vulcão da Serra de Água de Pau, que ocupa uma área de, aproximadamente, 150 km² e atinge uma altitude de 947 m (Fig.2.8).

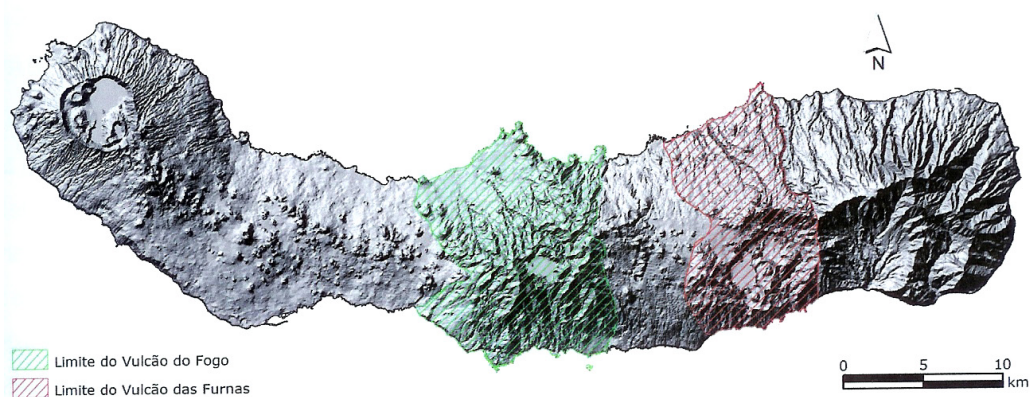


Figura 2.8 – Localização das unidades geomorfológicas dos vulcões do Fogo e das Furnas. A área adjacente aos dois vulcões, designada por Achada das Furnas, insere a região da Lagoa do Congro (Wallenstein, 1999, *in* Silva, 2004).

Este vulcão apresenta uma morfologia complexa no topo devido à acção da erosão, à tectónica normal e às estruturas de colapso aí existentes. Esta região é truncada no topo por uma depressão ocupada parcialmente pela Lagoa do Fogo (Wallenstein, 1999).

No flanco Norte do vulcão encontram-se alinhamentos de cones de escórias e cursos de água, os quais materializam as principais estruturas tectónicas deste flanco, com direcções dominantes NW-SE e NNW-SSE (Wallenstein, 1999). A direcção NNW-SSE

delimita uma importante estrutura tectónica distensiva, o designado *graben* da Ribeira Grande, no qual se verifica um colapso na ordem dos 650 m (Muecke *et al.*, 1974).

No flanco Sul do vulcão, e para além dos sistemas de falhas acima referidos, encontram-se, igualmente, estruturas com direcções N-S. Um sistema de fracturas mais profundo, de direcção E-W, está igualmente presente neste flanco, provavelmente com origem ao nível da crosta oceânica.

O edifício principal do vulcão resultou da acumulação de escoadas lávicas, domos e depósitos piroclásticos, na sua maioria de natureza traquítica. Nos últimos 4 000 anos a actividade foi essencialmente explosiva, especialmente focalizada no interior da caldeira, que deu origem à acumulação de depósitos de pedra-pomes de queda, escoadas piroclásticas, surges e mudflows. Esta actividade intracaldeira foi intercalada por eventos mais efusivos, ou menos explosivos, que tiveram lugar em centros eruptivos localizados nos flancos do aparelho vulcânico principal (Wallenstein, 1999).

Nos últimos 15 000 anos ocorreram cerca de 20 erupções, as mais recentes das quais, no topo do vulcão central ocorreram nos anos de 1563 e 1564, e pertencem a um grupo de sete eventos explosivos, de natureza traquítica, que tiveram lugar nos últimos 5 000 anos (Booth *et al.*, 1978, Wallenstein *et al.*, 1998). Concomitantemente, erupções de carácter mais básico ocorreram nos flancos do vulcão, das quais se salienta o episódio histórico ocorrido no ano de 1563, no Pico do Sapateiro.

2.3.3. Complexo Vulcânico das Furnas

O Complexo Vulcânico das Furnas faz fronteira com dois complexos da ilha: a Oeste com o Complexo Vulcânico do Fogo e a Este com o Complexo Vulcânico da Povoação.

O vulcão das Furnas corresponde a um aparelho poligenético com composição essencialmente traquítica e, embora a sua actividade eruptiva seja caracterizada maioritariamente por vulcanismo explosivo, já apresentou uma diversidade de cenários, desde actividades efusivas, até actividades explosivas com formação de caldeiras (Guest *et al.*, 1999). Muitas das suas erupções ocorreram no interior ou nos bordos da caldeira, mas todas as erupções efusivas tiveram lugar no exterior da caldeira, nos flancos do vulcão (Moore, 1991 a, 1991 b).

Geomorfologicamente este vulcão apresenta caldeiras, com cones, anéis de tufos e domas. O complexo da caldeira das Furnas caracteriza-se por duas estruturas dominantes e por outras duas de menores dimensões (Guest *et al.*, 1999).

A caldeira maior é a mais antiga com cerca de 30 000 anos BP (Guest *et al.*, 1999) e apresenta um diâmetro de 7 km por 5 km (Cole *et al.*, 1995); o bordo desta caldeira é facilmente identificado a Norte e Nordeste, onde corta uma sequência de lavas pertencentes ao Complexo Vulcânico Povoação/Nordeste, mas a Sul o bordo diluiu-se, devido à deposição de material mais recente e à acção de falhas normais que formam um *graben*.

Após a formação desta caldeira houve um período de erupção intra-caldeira que originou o seu preenchimento por material mais recente (Guest *et al.*, 1999).

Uma segunda caldeira menor formou-se há cerca de 10 000-12 000 anos BP com cerca de 6 km por 3,5 km. Esta caldeira, a Este, corta o bordo da caldeira mais antiga, expondo lavas do Complexo do Nordeste, e a NW apresenta-se bem definida, expondo a sequência de preenchimento da antiga caldeira. Semelhantemente ao que acontece com a caldeira mais antiga, o bordo Sul desta é indistinto. Depois da formação desta segunda caldeira, seguiu-se um período de preenchimento da mesma e duas erupções que conduziram a um colapso; uma originou a depressão actualmente preenchida com a Lagoa das Furnas e a outra corresponde à depressão onde hoje existe a freguesia das Furnas (Booth *et al.*, 1978).

No interior do Complexo da Caldeira das Furnas e nos flancos deste vulcão é possível observar domas e cones (Fig.2.9). A erupção de 1630, bem como a ocorrida no Pico do Gaspar (1439-1443), de morfologia mais preservada, apresentam anéis de tufos, rodeando domas traquíticos que apareceram na fase final das erupções. No lado NW da caldeira mais antiga observa-se uma cadeia de domos, o maior dos quais corresponde ao Pico do Ferro com 60 m de altura e 500 m de diâmetro; no bordo da caldeira mais antiga localiza-se o domo dos Bodes que é cortado pelo bordo da segunda caldeira e por falhas de direcção WNW, sendo ainda possível observar, junto do bordo da caldeira interna um cone de pedra-pomes designado por Pico do Canário e a Norte, pelo menos, dez cones de escórias com escoadas associadas (Guest *et al.*, 1999).

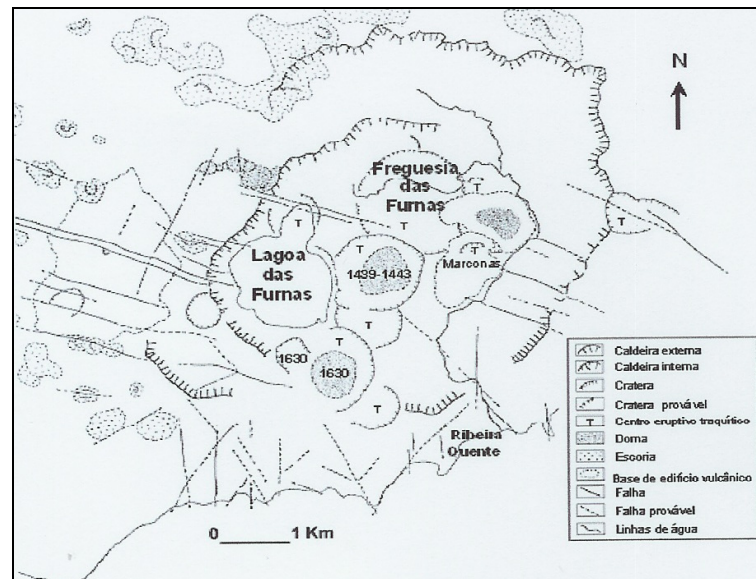


Figura 2.9 - Mapa morfoestrutural do Complexo Vulcânico das Furnas (*in* Gaspar *et al.*, 1995).

Relativamente às estruturas tectónicas existem dois importantes sistemas de fracturas, o primeiro de orientação WNW-ESSE, que atravessa o edifício vulcânico, apresentando uma componente normal associada a uma componente de desligamento direito, com algumas condutas alinhadas nesta direcção, sendo também de assinalar que a orientação de alguns vales sugere a existência de falhas de orientação E-W (Guest *et al.*, 1999). O segundo, patente na costa Sul, desde Amoras até à Ribeira Quente, caracteriza-se pela existência de falhas de direcção N-S e NNE-SSW. Uma outra estrutura distensiva de direcção NW-SE aparece paralelamente ao sistema de fracturas regional do *Rifte* da Terceira (Guest *et al.*, 1999).

2.3.4. Complexo Vulcânico da Povoação

O Complexo Vulcânico da Povoação, contíguo ao Complexo Vulcânico do Nordeste, corresponde a um vulcão central encimado por uma caldeira, com um diâmetro da ordem de 6 km, truncada no seu bordo Sul. Esta abertura para o mar poderá ter resultado da acção de erosão marinha (Guest *et al.*, 1999). A Norte, e de W para E, este complexo é limitado por um alinhamento de picos: Covões, Cedros, Gafanhoto, Buraco, Sebastião Alves, Vara, Pico Verde e Bartolomeu.

O enquadramento tectónico da área é dominado por um importante sistema de fracturas, com direcção WNW-ESSE, caracterizado por apresentar uma componente normal. De direcção E-W, algumas linhas de água, sugerem um controle estrutural, enquanto um outro sistema (NE-SW) tem expressão na costa Sul do concelho. Na vertente Sul encontram-se indícios de uma estrutura distensiva de direcção NW-SE, a qual coincide com a direcção regional do denominado *Rifte* da Terceira. Todos estes sistemas de fracturas propiciam a ocorrência de movimentos de vertente no concelho da Povoação (Valadão, 2002).

Segundo França *et al.* (2003) os produtos vulcânicos resultantes da actividade do vulcão central da Povoação encontram-se cobertos pelos materiais emitidos pelo vulcão central das Furnas, localizado para W. De acordo com Moore (1990,1991b) destaca-se o caso do ignimbrito da Povoação, o qual está interrelacionado com o evento vulcânico responsável pela formação da caldeira das Furnas, tal como algumas escoadas lávicas basálticas e cones estrombolianos observáveis na caldeira da Povoação.

2.3.5. Complexo Vulcânico dos Picos

O Complexo Vulcânico dos Picos, com uma área de cerca de 180 km² e uma altitude média da ordem dos 200 m, situa-se entre os flancos E do vulcão central das Sete Cidades e W do vulcão central do Fogo. Na figura 2.10 encontram-se representados os limites espaciais da área que confina os alinhamentos de centros vulcânicos monogenéticos que constituem o Complexo Vulcânico dos Picos.

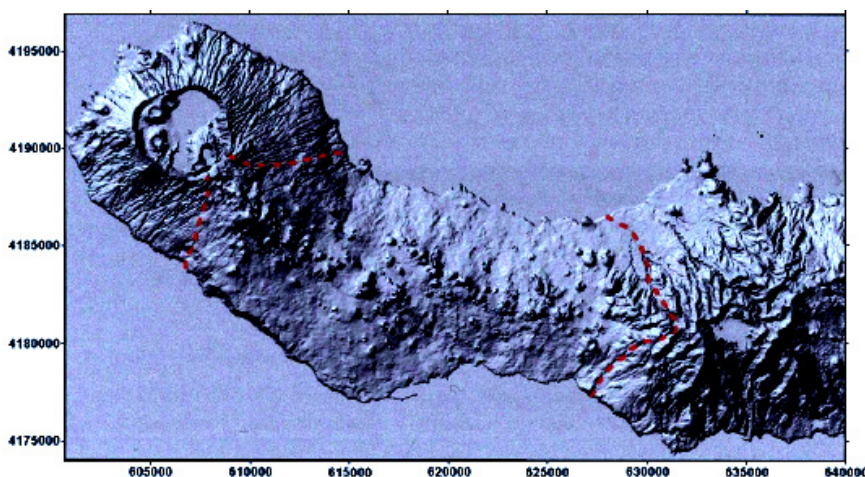


Figura 2.10 – Limites do Complexo Vulcânico dos Picos de acordo com Ferreira (2000).

O Complexo Vulcânico dos Picos é marcado pela presença de diversos alinhamentos de cones de escórias, cujas formas mais recentes correspondem a edifícios em que as suas relações morfométricas se mantêm preservadas, apresentando crateras bem definidas, a partir das quais se desenvolvem superfícies de escoadas lávicas, *aa* e *pahoehoe*, bastante extensas, estendendo-se para Norte e para Sul ao longo de vertentes relativamente suaves. É possível encontrar estruturas hidrovulcânicas, cones de pedra-

pomes e domos, estes últimos associados maioritariamente à actividade eruptiva do vulcão do Fogo (Ferreira 2000).

A actividade eruptiva responsável pela edificação deste Complexo foi essencialmente efusiva. As escoadas lávicas são predominantemente máficas; quanto à morfologia das escoadas elas são preferencialmente do tipo *aa*, no entanto, na proximidade de alguns centros eruptivos, podem observar-se características *pahoehoe*, que na sua maioria se vão desvanecendo à medida que a viscosidade vai aumentando com a distância percorrida relativamente ao centro eruptivo.

Segundo Machado (1959 *in* Ferreira 2000), a distribuição espacial dos cones de escórias e a orientação das fissuras eruptivas permite constatar que toda a região dos Picos é afectada por um sistema de fracturas dominante, de direcção geral NW-SE, concordante com o sistema regional definido pelo *Rifte* da Terceira (Fig. 2.11).

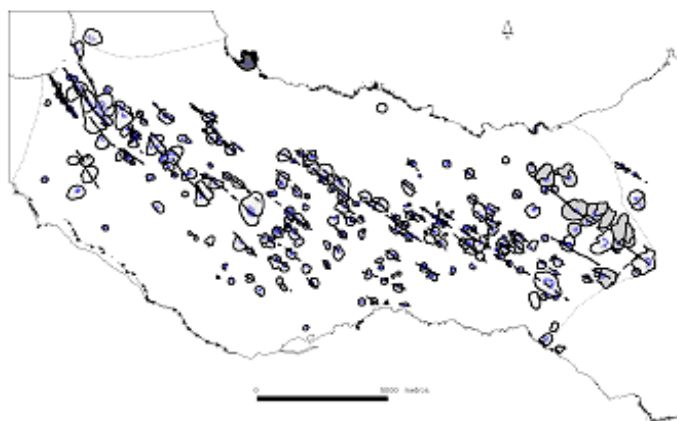


Figura 2.11 – Esboço esquemático das principais estruturas do Complexo Vulcânico dos Picos (Ferreira, com. Pess., 2044).

2.3.6. Complexo Vulcânico do Nordeste

O Complexo Vulcânico do Nordeste, que domina a extremidade oriental de São Miguel, é considerado a unidade vulcanoestratigráfica mais antiga da ilha. Este complexo apresenta uma morfologia bastante acidentada e está cortado por uma densa rede de filões. De um modo geral, os termos litológicos revelam um elevado grau de alteração.

Este complexo, em termos genéricos, é essencialmente constituído por escoadas lávicas e depósitos piroclásticos (Zbyszewski *et al.*, 1958), que correspondem em cerca de 90% a rochas máficas (Moore, 1990, 1991b). O significativo predomínio de escoadas lávicas de natureza basáltica *s.l.* faz supor que o Complexo Vulcânico do Nordeste foi edificado por actividade vulcânica predominantemente de carácter efusivo e fissural.

Fernandez (1982), fez um estudo petrológico e geoquímico do Complexo Basáltico do Nordeste, classificando as rochas desta unidade estratigráfica como pertencentes à série alcalina de tendência potássica, incluindo termos de composição variável entre os basaltos e os traquitos. As escoadas mais antigas, caracterizadas por baixos teores de TiO_2 e elevadas concentrações de SiO_2 , foram interpretadas como tendo composições toleíticas a alcalinas.

Abdel-Monem *et al.*, (1975) dataram, através do método de K-Ar, rochas do Complexo Vulcânico do Nordeste, obtendo idades entre 4 Ma e 0,95 Ma. Posteriormente, foram apresentadas novas datações $^{40}Ar/^{39}Ar$ por Johnson *et al.* (1998), para o mesmo Complexo Vulcânico, e as idades obtidas situam-se entre os 0,78 a 0,88 Ma.

Geomorfologicamente, a região da Tronqueira e Nordeste, corresponde a uma região montanhosa com profundos vales de erosão e imponentes arribas e que integra as formações correspondentes ao vulcanismo mais antigo da ilha. A parte N consiste numa plataforma que inclina para N, profundamente entalhada por uma rede de vales mais ou menos paralelos (Carmo 2004).

Do ponto de vista tectónico e com base no Modelo Tridimensional do Terreno (MDT), verifica-se que a expressão morfológica dos acidentes tectónicos se restringe a arribas litorais e vales fluviais de traçado rectilíneo (Fig. 2.12), de acordo com Carmo (2004) tal facto sugere o controle tectónico por falhas pouco activas ou sem actividade recente.

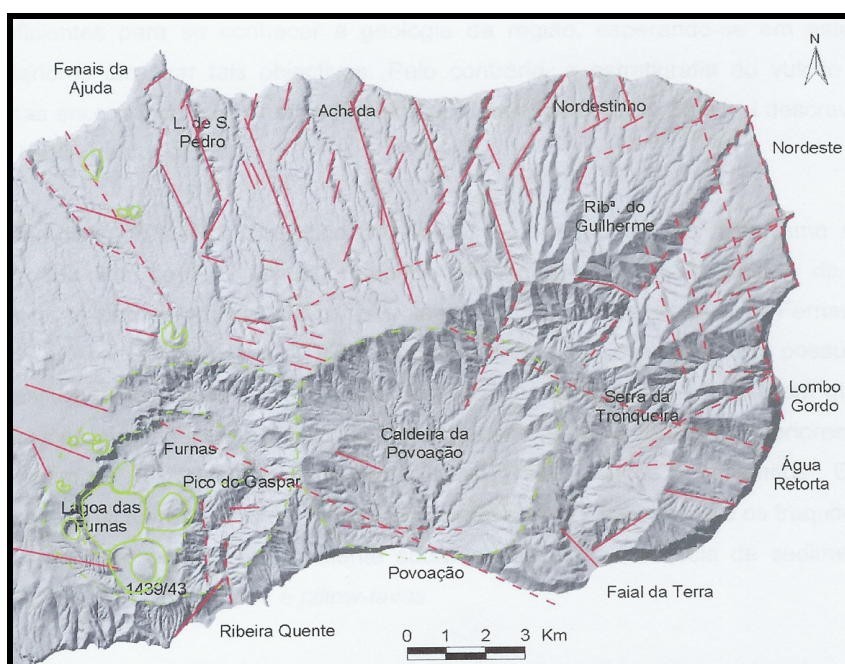


Figura 2.12 – Análise geomorfológica com base no MDT da área Povoação-Nordeste, onde se pode observar aspectos da geomorfológicos. A verde encontram-se os limites de estruturas vulcânicas, como as duas caldeiras do Vulcão das Furnas e os domos associados às erupções de 1439/43 no Pico do Gaspar e de 1630, bem como alguns cones de escórias, e a caldeira da Povoação truncada pelo recuo das arribas litorais. A vermelho encontram-se todos os lineamentos deduzidos da análise do MDT (Carmo, 2004) que afectam o Complexo vulcânico do Nordeste.

Na parte N verificam-se uma série de lineamentos de direcções NNW-SSE e NE-SW. A primeira direcção é paralela à orientação da arriba rectilínea do Nordeste e a segunda é paralela à direcção do vale da ribeira do Guilherme que, devido ao facto de ser bastante rectilíneo, sugere um controlo tectónico (Carmo, 2004). Na zona S, as direcções dominantes são WNW-ESSE e, menos frequentes as estruturas de orientação E-W e N-S.

2.4. ENQUADRAMENTO HIDROGEOLÓGICO

Um aquífero corresponde a uma formação geológica que contém e permite a circulação de água subterrânea de modo eficiente, possibilitando suprir as necessidades de consumo, por parte do Homem, de forma economicamente rentável (Custódio & Llamas, 1983).

A circulação da água subterrânea depende das características litológicas dos aquíferos e da tectónica da zona. Em regiões vulcânicas, é frequente a presença de barreiras impermeáveis ou pouco permeáveis. Quando na presença de estratos permeáveis podem formar-se dois tipos distintos de aquíferos, aquíferos do tipo fissurado e aquíferos do tipo poroso. O primeiro tipo está associado a escoadas lávicas e a escoadas piroclásticas consolidadas, enquanto o segundo está associado a piroclastos não consolidados (Carvalho, 1999).

Na ilha de São Miguel foram definidos seis sistemas de aquíferos de acordo com critérios de natureza geológica, tais como a estratigrafia, a litologia e os condicionamentos tectónicos (Fig. 2.13). Estes sistemas aquíferos foram designados de Sete Cidades, Ponta Delgada-Fenais da Luz, Água de Pau, Achada, Furnas-Povoação e Nordeste (Cruz, 2001).



Figura 2.13 – Sistemas Aquíferos da ilha de São Miguel (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero das Sete Cidades apresenta uma área aflorante de 85,81 km². Os seus limites são coincidentes com os limites das formações geológicas e a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas *s.l.*; *mudflows* e cobertura piroclástica indiferenciada. Este corresponde a um sistema aquífero misto constituído por aquíferos porosos e fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados hidraulicamente aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de

vista hidrogeológico. As fácies químicas presentes correspondem predominantemente à cloretada sódica à cloretada bicarbonatada sódica, à bicarbonatada cloretada sódica e à bicarbonatada sódica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero Ponta Delgada-Fenais da Luz possui uma área aflorante de aproximadamente 197,06 km². Os limites deste aquífero correspondem aos limites das formações geológicas e sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas basálticas *s.l.* intercaladas com níveis piroclásticos e a depósitos piroclásticos basálticos subaéreos relacionados com aparelhos vulcânicos secundários. Os aquíferos de base deste sistema são predominantemente fissurados enquanto os aquíferos de altitude são descontínuos e dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. As fácies químicas presentes correspondem à cloretada sódica, à cloretada bicarbonatada sódica e à bicarbonatada sódica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero de Água de Pau apresenta uma área aflorante de 133,99 km². Os seus limites são coincidentes com os limites das formações geológicas e a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas *s.l.*; *mudflows* e cobertura piroclástica indiferenciada. Este Sistema corresponde a um sistema aquífero misto, constituído por aquíferos porosos e fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados hidráulicamente aos aquíferos de base que são porosos

e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. Em relação às fácies químicas presentes verifica-se um predomínio da cloretada sódica, da cloretada bicarbonatada sódica e da bicarbonatada sódica, estando também presente de modo menos representativo a cloretada bicarbonatada sódica cálcica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero da Achada possui uma área aflorante de aproximadamente 71,68 km². Os limites deste aquífero correspondem aos limites das formações geológicas e a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas basálticas *s.l.*; cones de escória e cobertura de piroclastos indiferenciados. Este Sistema corresponde a um sistema aquífero misto constituído predominantemente por aquíferos fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados hidráulicamente aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. As fácies químicas presentes correspondem à cloretada sódica; à bicarbonatada sódica e à cloretada bicarbonatada sódica cálcica (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero das Furnas-Povoação apresenta uma área aflorante de 90,86 km². Os seus limites são coincidentes com os limites das formações geológicas e a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas e domos traquíticos; depósitos piroclásticos (pedra pomes, escoadas piroclásticas, surges); escoadas lávicas basálticas *s.l.*; *mudflows* e

cobertura piroclástica indiferenciada. Este Sistema corresponde a um Sistema de Aquífero misto constituído por aquíferos porosos e fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados hidraulicamente aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida ou de aparelhos vulcânicos secundários com volume significativo do ponto de vista hidrogeológico. Em relação às fácies químicas presentes verifica-se um predomínio da bicarbonatada sódica, estando também presente de modo menos representativo a bicarbonatada sódica magnesiana (Cruz, 2001).

O Sistema Aquífero Nordeste-Faial da Terra apresenta uma área aflorante de 166,41 km². Os seus limites são coincidentes com os limites das formações geológicas e a sua base é definida pelo limite inferior da lentícula de água doce. As litologias dominantes correspondem a escoadas lávicas e a depósitos piroclásticos basálticos subaéreos e intercalados e apresenta um grau de alteração superior aos restantes sistemas de aquíferos. Este corresponde a um sistema aquífero misto, constituído predominantemente por aquíferos fissurados. Os aquíferos de altitude são descontínuos ou estão conectados hidraulicamente aos aquíferos de base que são porosos e fissurados. Estes aquíferos estão dependentes da existência de níveis de permeabilidade muito reduzida. Em relação às fácies químicas presentes verifica-se um predomínio da cloretada sódica a bicarbonatada sódica e da bicarbonatada sódica cálcica, estando também presente, de modo menos representativo, a bicarbonatada cloretada sódica (Cruz, 2001).

3. ÁGUAS MINERAIS NA ILHA DE SÃO MIGUEL

3.1. DISTRIBUIÇÃO

Para localizar os pontos de água mineral existentes na ilha de São Miguel procedeu-se a um levantamento de campo. Para este efeito utilizou-se, no terreno, o GPS modelo Garmin Map276C, no sistema de coordenadas U.T.M. WGS 84, juntamente com as Cartas Militares, folhas 26-34, à escala 1:25000 referentes, àquela ilha.

As coordenadas M e P 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 I).

Os setenta e seis pontos de água mineral inventariados na ilha de São Miguel distribuem-se geograficamente por quatro concelhos, nomeadamente, Povoação, Ribeira Grande, Ponta Delgada e Vila Franca do Campo (Fig. 3.1).

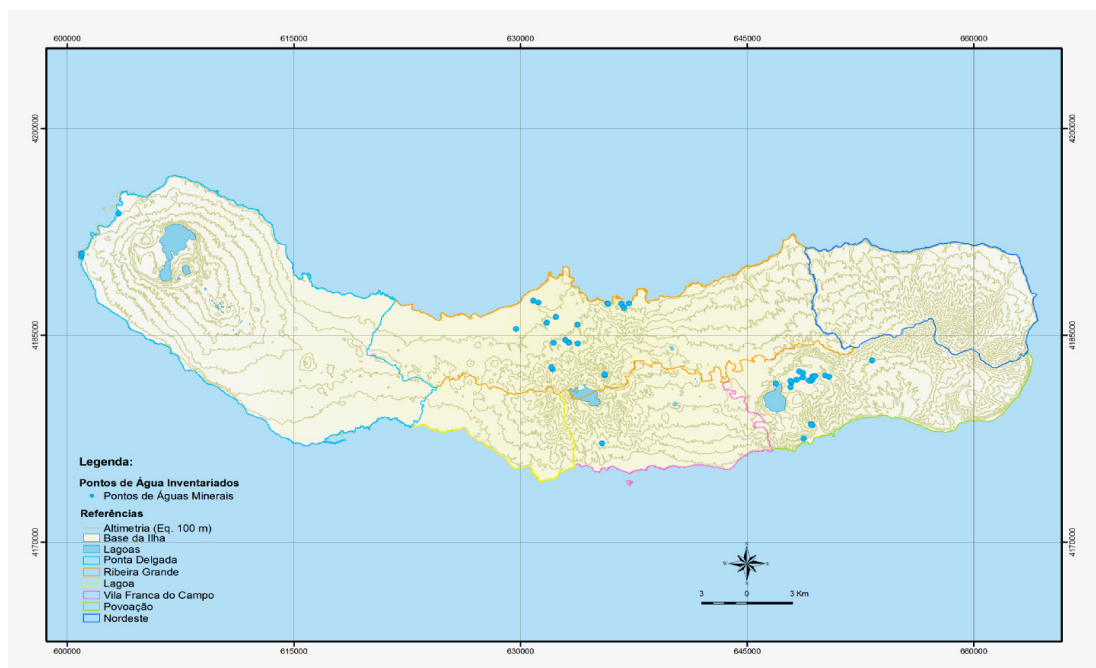


Figura 3.1 – Localização geográfica dos pontos de água mineral segundo os limites administrativos (concelhos).

No concelho da Povoação situa-se o maior número de pontos de água mineral inventariados, quarenta e seis, dos quais 54% de acordo com a tabela 3.1 se localizam na freguesia das Furnas (Fig. 3.2).

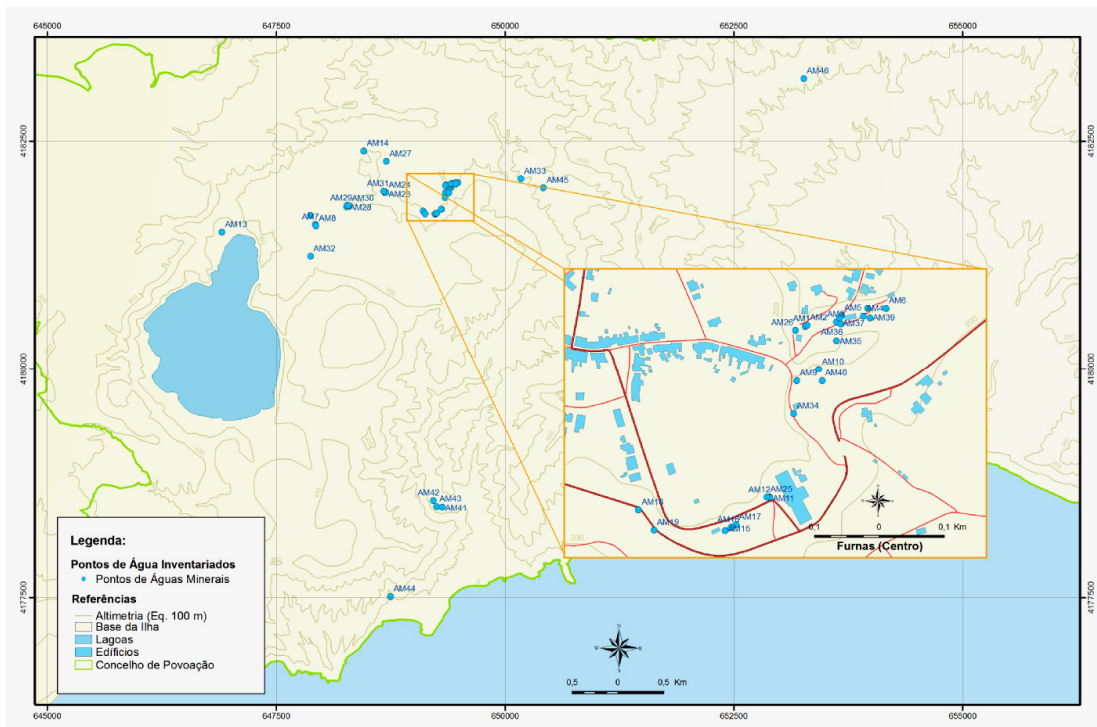


Figura 3.2 – Localização geográfica dos pontos de água mineral no concelho da Povoação.

No concelho da Ribeira Grande localizam-se vinte e três pontos de água mineral, distribuídos pelas freguesias de Matriz, Porto Formoso, Ribeira Seca, Ribeirinha e Conceição. Está ainda referenciado um ponto de água mineral no concelho de Vila Franca do Campo, freguesia de Água D'Alto, actualmente inacessível (Fig. 3.3).

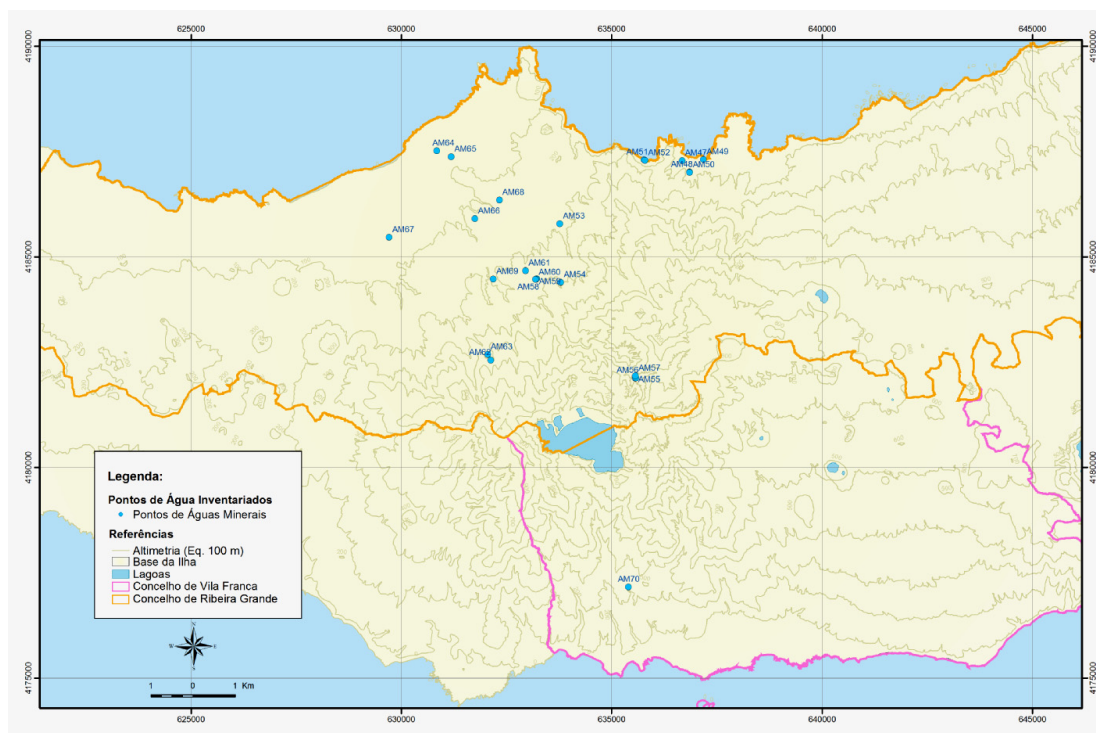


Figura 3.3 – Localização geográfica dos pontos de água mineral nos concelhos da Ribeira Grande e de Vila Franca do Campo.

No concelho de Ponta Delgada situam-se seis pontos de água mineral, quatro na freguesia de Ginetes e dois na freguesia de Mosteiros (Fig. 3.4).

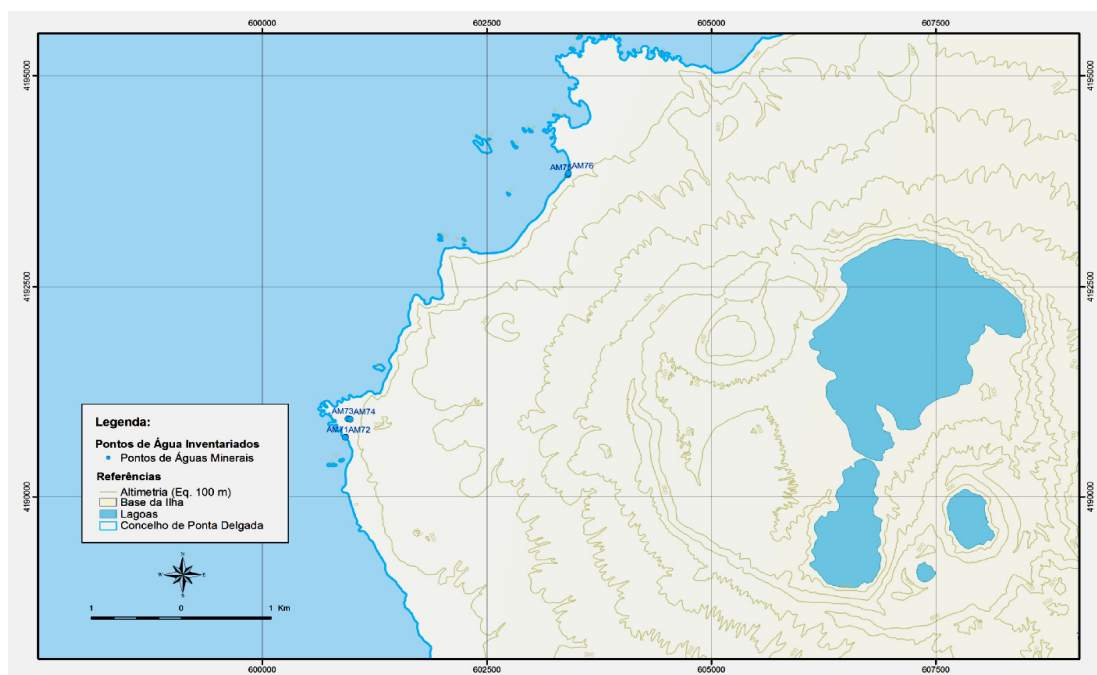


Figura 3.4 – Localização geográfica dos pontos de água mineral no concelho de Ponta Delgada.

A tabela 3.1 compila a informação relativa à distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel, com a indicação do número de pontos por divisões administrativas de concelho e freguesia, bem como da respectiva percentagem.

Concelho	Freguesia	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Povoação	Povoação	1	1,3
	Ribeira Quente	4	5,3
	Furnas	41	54,0
Total Povoação		46	60,6
Vila Franca do Campo	Água D'Alto	1	1,3
Total Vila Franca do Campo		1	1,3
Ribeira Grande	Porto Formoso	6	7,9
	Ribeirinha	2	2,6
	Conceição	1	1,31
	Matriz	11	14,5
	Ribeira Seca	3	3,9
Total Ribeira Grande		23	30,2
Ponta Delgada	Ginetes	4	5,3
	Mosteiros	2	2,6
Total Ponta Delgada		6	7,9
Total São Miguel		76	100,0

Tabela 3.1 – Distribuição dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel por concelho e freguesia.

3.1.1. Contexto Geomorfológico e Vulcanológico

A altitude dos setenta e seis pontos de água mineral inventariadas em São Miguel encontra-se no anexo II, verificando-se um máximo de 569,5 m (Lombadas), um mínimo de 0,0 m (Ferraria I) e uma mediana de 191,0 m (Tabela 3.2).

Estatística dos Dados Altimétricos (m)	
Máximo	569,5
Mínimo	0,0
Mediana	191,0

Tabela 3.2 - Dados altimétricos.

Os pontos de água mineral de São Miguel distribuem-se por quatro Complexos Vulcânicos (Anexo II): quarenta e cinco no Complexo Vulcânico das Furnas (59,2%), um no Complexo Vulcânico da Povoação (1,3%), vinte e quatro no Complexo Vulcânico do Fogo (31,6%) e seis no Complexo Vulcânico das Sete Cidades (7,9%); (Tabela 3.3 e Fig.3.5).

Contexto Vulcanológico	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Complexo Vulcânico das Furnas	45	59,2
Complexo Vulcânico da Povoação	1	1,3
Complexo Vulcânico do Fogo	24	31,6
Complexo Vulcânico das Sete Cidades	6	7,9
Total	76	100,0

Tabela 3.3 - Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Complexos Vulcânicos.

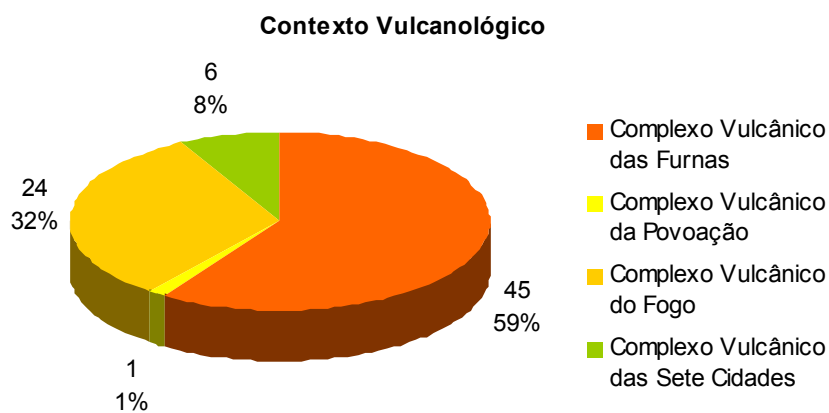


Figura 3.5 – Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Complexos Vulcânicos.

3.1.2. Contexto Hidrogeológico

Os pontos de água de São Miguel encontram-se em três dos seis Sistemas Aquíferos existentes na ilha (Anexo III): Furnas-Povoação, Água de Pau e Sete Cidades (Fig.3.6).

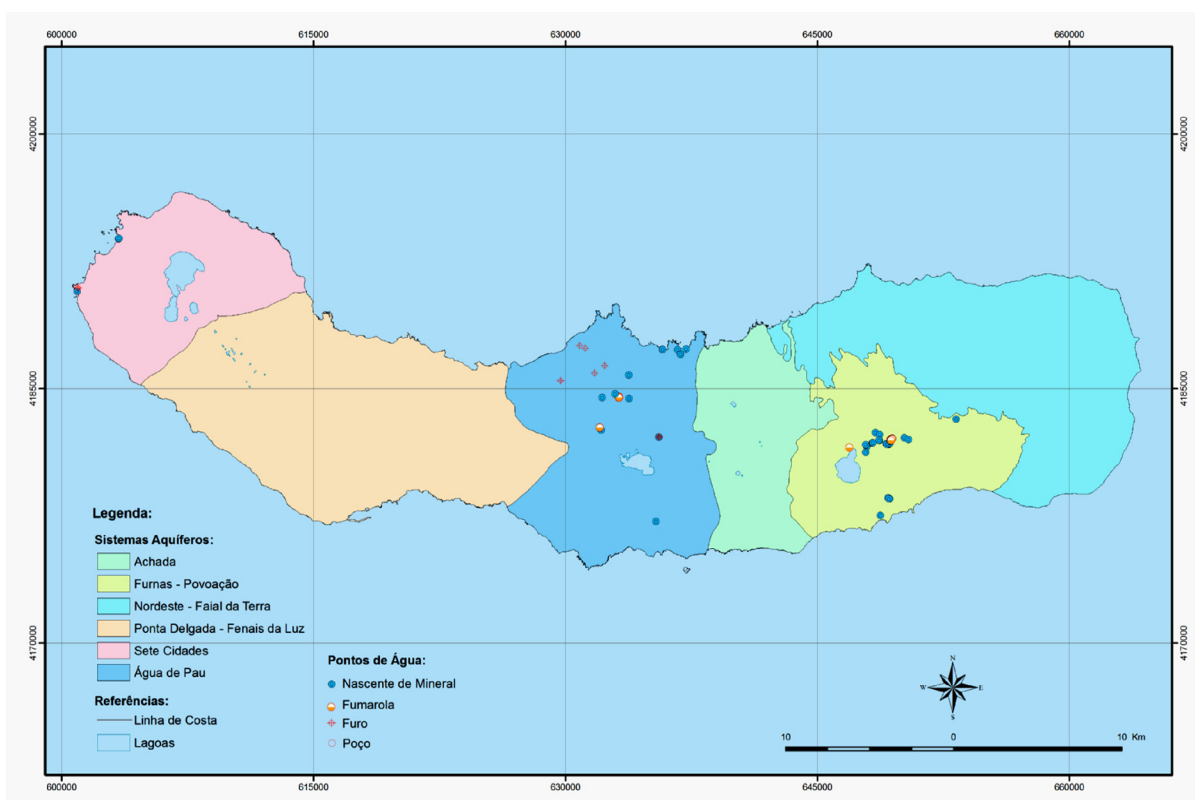


Figura 3.6 – Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas Aquíferos na ilha de São Miguel.

No Sistema Aquífero Furnas-Povoação existem quarenta e seis pontos de água mineral (60,5 %), no Sistema Aquífero Água de Pau ocorrem vinte e quatro (31,6%) e no Sistema Aquífero das Sete Cidades, apenas seis (7,9%) (Tabela 3.4 e Fig. 3.7).

Sistemas Aquíferos	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Furnas - Povoação	46	60,5
Água de Pau	24	31,6
Sete Cidades	6	7,9
Total	76	100,0

Tabela 3.4 - Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas de Aquíferos.

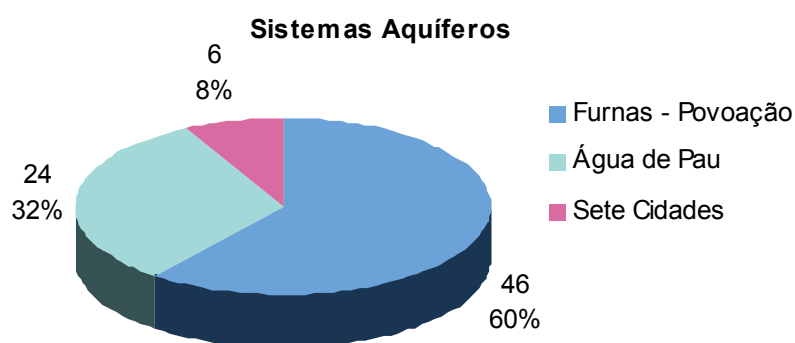


Figura 3.7 – Distribuição dos pontos de água mineral segundo os Sistemas de Aquíferos.

Atendendo ao tipo de ocorrência (Anexo III), verifica-se que dos setenta e seis pontos de água mineral referenciados, cinquenta e seis são nascentes (73,7%), dez são fumarolas (13,2%), nove são furos (11,8%) e um corresponde a um poço de maré (1,3%); (Tabela 3.5 e Fig. 3.8).

Tipo de Ocorrência	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Nascente	56	73,7
Fumarola	10	13,2
Furo	9	11,8
Poço	1	1,3
Total	76	100,0

Tabela 3.5 - Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Ocorrência.

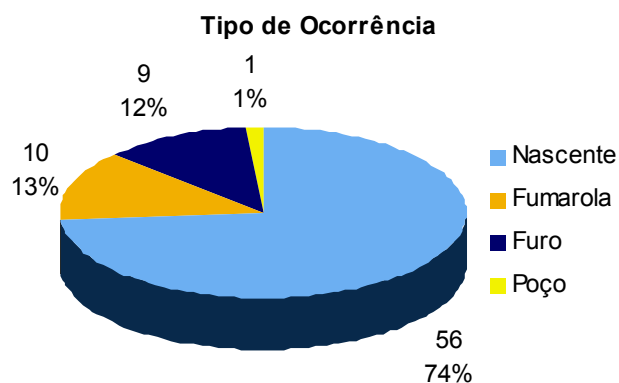


Figura 3.8 – Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Ocorrência.

Relativamente à tipologia de aquífero verifica-se que catorze pontos de água mineral (18,4%) emergem nos aquíferos basais (altitude até 10m) e sessenta e dois (81,6%) são de altitude ou suspensos (altitude superior a 10m) (Tabela 3.6 e Fig. 3.9).

Tipo de Aquífero	Nº de Pontos de Água Mineral	% de Pontos de Água Mineral
Base	14	18,4
Suspensão	62	81,6
Total	76	100,0

Tabela 3.6 - Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Aquífero.

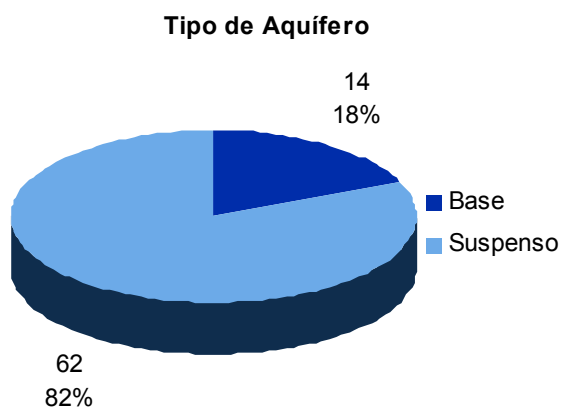


Figura 3.9 – Distribuição dos pontos de água mineral segundo o Tipo de Aquífero.

4. RECOLHA E VALIDAÇÃO DE DADOS HIDROGEOQUÍMICOS HISTÓRICOS

“A sciencia edifica-se assim, por pedras acumuladas pouco a pouco pelos diversos experimentadores. Todos têm a mesma moral: procurar descobrir a verdade e expo-la com sinceridade, não escondendo debaixo de pretensos conhecimentos, o pouco que ainda sabemos em relação ao que desejaríamos saber...” (Lepierre, 1917).

A recolha e validação dos dados hidrogeoquímicos históricos é determinante para a compreensão do conhecimento actual das águas minerais, e para a previsão de fenómenos relacionados com o carácter vulcânico do arquipélago dos Açores, no caso da presente dissertação, na ilha de São Miguel.

A recolha desses dados foi portanto exaustiva, atendendo aos arquivos disponíveis que foram, por ordem de importância decrescente, a Biblioteca da Universidade dos Açores, a Biblioteca Pública e Arquivo Regional de Ponta Delgada, a Biblioteca do Museu Carlos Machado, a Biblioteca do Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI), às quais se devem acrescentar informações de livros e publicações pertencentes a particulares.

A pesquisa bibliográfica levada a cabo teve como primeira consequência a constatação que havia um número limitado de obras específicas, marcos na história do conhecimento relativo às águas minerais dos Açores, que era repetidamente citados pelos

muitos autores que escreveram sobre o arquipélago. Cronologicamente essas obras são da autoria de: Frutuoso (1583), Albuquerque & Menezes (1826), Fouqué (1873), Lepierre (1917), Acciaiuoli (1952, 1953), Carvalho (1955), Bencini *et al.* (1982), Cruz *et al.* (1999), Carvalho (1999) e Cruz & França (2006).

No “Livro Quarto das Saudades da Terra” (Frutuoso, 1583, 1981), encontram-se porventura as primeiras referências à localização de nascentes minerais de São Miguel, posteriormente estudadas por diferentes autores e de que destacamos, a título de exemplo, as nascentes do Complexo Vulcânico das Sete Cidades. Pode ler-se no capítulo XLIV do vol. II a este respeito:

“ (...) Ao pé deste Pico junto do dito cais, para a banda leste sai uma formosa ribeira de água tão quente que nela se pelam leitões, coze peixe e escascam lapas que ali se criam nas pedras; a qual ribeira cobre com doçura e quentura (...) Antre o pico das Ferrarias e os Mosteiros, estão no calhau, junto do mar, duas fontes pequenas, uma na grota de Rui Vaz e outra no pé da rocha das Ferrarias”.

Também as caldeiras da Ribeira Grande merecem destaque no “Livro Quarto das Saudades da Terra (Vol. III, 1985), pois lê-se, a este respeito, no capítulo LXXXV:

“ (...) Na dita vila da Ribeira Grande, apartado algum pouco dela para a banda do Sudoeste, está um, chamado de Sapateiro (...) o qual pico, por ter junto de si e por baixo no seu centro os mesmos materiais de enxofre,

caparosa, salite, rosalgar e pedra hume, como ali perto dão mostras as Caldeiras, que acima da vila fervem, e os fumos que de outras furnas há muitos anos saem (...).”

Numa época de transição da Alquimia para a Química é curioso notar a preocupação de referir “materiais” constituintes das águas.

Na senda das mais antigas referências bibliográficas às águas minerais de São Miguel aparece um documento curioso, de três páginas apenas, 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). O relato diz respeito à erupção vulcânica no Vale das Furnas, ocorrida no dia 2 de Setembro, 1630, e que se prolongou de 2^a feira a sábado seguinte, mas antes da descrição dos terríveis acontecimentos pode ler-se uma referência à ribeira dos Tambores, em cujas águas quentes temperadas e medicinais os enfermos tomavam banho e às Caldeiras da Lagoa das Furnas:

“Ha tambem hua ribeyra de agoa quente temperada muy medicinal pera muitas enfermidades, onde os enfermos tomão muitos banhos: junto a ehta ribeyra ha hum Conuento de Clerigos retirados (...). Hum pouco defuiado defte Conuento ehta hum fitio no mesmo valle em que ha muitas furnas de que fai fumo, agoa quente, clara & delgada: de outras mais pequenas (...) com roim cheiro de enxofre & falitre. Ha mais nefte valle hua notael alagoa de agoa clara & frigidifsima, que tem de comprimento hua legoa & de largura

mea (...) junto a esta lagoa em suas praias ha algas furnas pequenas, de que fae muito quente a agua com fumo & cheiro a enxofre (...)."

Entre as primeiras tentativas de um estudo sistemático das águas minerais de São Miguel avulta a obra "Relação das Águas Mineraes da ilha Portugueza de S. Miguel", datada de 1791, da autoria Dr. Guilherme Gourlay, médico na Madeira (Gourlay, 1791).

Nesta obra, Guilherme Gourlay apresenta uma classificação das "nascentes" da lagoa e caldeiras das Furnas, baseada na observação das mesmas, considerando 4 grupos: I-Fria; II-Moderada; III-Fervente; IV-Fumante.

Gourlay realizou também experiências químicas com reagentes químicos específicos, conhecidos à época, de que relata os resultados e indica algumas propriedades organoléticas das águas minerais. Lamentando o facto de estar poucos dias, "nestas paragens", o autor refere ainda estar "desprovido" dos aparelhos, necessários para fazer análises, referindo até que estas análises não serão completas se não forem feitas nos sítios de origem, devido à extrema volatilidade de muitas das partes componentes. Acrescenta ainda que realizou as experiências que pôde para "mostrar as partes predominantes na composição das diferentes águas".

Como médico que era, Gourlay deu ainda 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) e é igualmente citada no volume VIII do “Arquivo dos Açores”.

No século XIX visitou a ilha de S. Miguel, John Webster, mineralogista americano, atraído como muitos outros pelo seu clima, beleza natural e grandiosidade das suas crateras, ocupadas por lagoas ou das elevações a pique sobre o mar. Permaneceu na ilha nos anos de 1817 e 1818, tendo publicado a notável “Descrição da ilha de S. Miguel”, em Boston (Webster, 1821).

A importância deste livro reside em primeiro lugar no registo de observações de temperaturas nas Caldeiras da lagoa das Furnas e nas Caldeiras das Furnas, expressas em graus Fahrenheit, com a particularidade de indicar a temperatura ambiente, à sombra, e a pressão atmosférica, juntamente com a data e a hora aproximada de um conjunto de temperaturas nalgumas das nascentes, indicadas segundo a ordem de observação. Como Webster não fez corresponder cada uma das temperaturas registadas à respectiva nascente, o seu trabalho revela-se, contudo, pouco útil para comparações futuras. Este facto foi mais tarde assinalado por Francisco Afonso Chaves no seu livro “A Temperatura das Nascentes Thermaes das Furnas” (Chaves, 1906) de que se transcreve o seguinte excerto:

“Do trabalho de Webster somente se pode, pois, concluir que na região da lagoa das Furnas a mais alta temperatura observada foi 193° F (89,4° C), e a mínima de 79° F (26,1°C); e nas Caldeiras a máxima de 207° F (97,2° C), e a mínima 73° F (22,8° C).

Infelizmente estas indicações de Webster são pouco valiosas visto não se referirem a esta ou àquella nascente, mas só a duas regiões, onde há muitas nascentes minerais.

Incidentemente, referindo-se à Caldeira Grande, diz que “nella é que a água ferve, com mais violência, do que nas outras; por isso é de presumir que a temperatura mais elevada, a de 97,2° C, fosse observada naquella nascente”.

Webster recolheu também em garrafas amostras de água das diferentes nascentes que vedou o melhor possível, e abriu posteriormente nos Estados Unidos procedendo então à realização de ensaios que lhe forneceram algumas ideias gerais do carácter químico das mesmas. Refere especificamente a análise de uma garrafa de água das nascentes minerais, tirada directamente da “Grande Caldeira” e vedada, logo que a sua temperatura o permitiu, feita pelo seu amigo Prof. J. F. Dana. A curiosidade desta análise é ela indicar por meio litro de água:

- 1- gaz carbonico com vestigios de hydrogeno sulfurado 26,4 pollegadas cubicas.
- 2- Carbonato de potassio com vestigios de muriato de sódio -----(1,0000 grãos).
- 3- Carbonato de ferro com vestigios de manganez----- (1,2834 grãos).
- 4- Sílica----- (0,5666) 2,8500

(in “Arquivo dos Açores – Volume XIV”)

Obra de primordial importância no progresso do conhecimento científico das águas minerais dos Açores, particularmente de São Miguel, é a designada “Observações Sobre a ilha de S. Miguel, Recolhidas pela Comissão Enviada a Mesma ilha em Agosto de 1825 e Regressada em Outubro do Mesmo Ano”, de Luiz Silva Mouzinho de Albuquerque e seu ajudante Ignacio Pitta de Castro Menezes (Albuquerque & Menezes, 1826).

Mouzinho de Albuquerque era Provedor da Casa da Moeda e eminente professor de química da Universidade de Lisboa, e tinha sido enviado a São Miguel, em missão do Governo Português, a pedido do desembargador Dr. Vicente José Ferreira C. Costa. Uma das finalidades desta missão era determinar o valor químico das águas minerais das Furnas para que pudessem ter uma maior aplicação terapêutica.

Embora o livro supracitado tenha duas partes com igual interesse, é a segunda, intitulada “Observações sobre o Valle das Furnas e Aguas Que Nelle Brotão” que merece maior atenção, pois aparecem, pela primeira vez, análises químicas quantitativas, referentes à composição sobre 1000 partes, de três águas do vale das Furnas, designadas pelos números 1, 2 e 3: “Água nº1, chamada no Paiz Agua Azêda”, “A Agua nº2, denominada no Paiz Agua da Caldeira Grande” e “Água nº3, ou do Sanguinhal” (Mouzinho, 1826). Mouzinho de Albuquerque mediu a temperatura das águas, indicando a temperatura ambiente, e descreveu as propriedades organoléticas das mesmas. Mouzinho de Albuquerque e Ignacio Pitta elaboraram, igualmente, também duas plantas, respectivamente do “Valle das Furnas” e das “Caldeiras do Valle das Furnas”, que se encontram na obra referida, juntamente com 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.

A título de curiosidade pode consultar-se a “Correspondencia Official Relativa à Comissão de que foi encarregado o Dr. Vicente José F.C. da Costa, 1824, sobre o Melhoramento da ilha de São Miguel”, particularmente as cartas N°35, N36 e N°57, que constam do Volume II do “Arquivo dos Açores”.

No século XIX a par de obras de índole mais científico há livros cuja tónica é aparentemente dedicado a descrições de viagens, mas que contêm informações preciosas sobre estudos realizados anteriormente por peritos que tinham visitado a ilha de São Miguel e no decurso destas deslocações efectuaram investigações sobre as águas minerais. Entre estes cita-se em primeiro lugar “Uma Viagem ao Valle das Furnas, ilha de S. Miguel em Junho de 1840”, de Bernardino José de Senna Freitas (Freitas, 1845). No capítulo deste livro, intitulado “Descripção do Valle das Furnas, Analyse Das Suas Aguas Medicinaias” encontra-se o “Mappa das Furnas”, publicado por Felix de Valois e Silva, em 1792, oferecido ao Ministro d’ Estado, Martinho de Mello Castro e referências detalhadas aos trabalhos de Guilherme Gourlay (1791), de Mouzinho de Albuquerque e Ignacio Pitta (1825), já citados anteriormente, e aos de Joseph e Henry Bullar, particularmente referidos por causa da obra “A Winter In Azores and Summer at the Baths of the Furnas” (Bullar & Bullar, 1841). Joseph and Henry Bullar incluíram no seu livro análises químicas das nascentes da Caldeira Grande, Quenturas e Azeda, reproduzidas no texto da obra de Senna de Freitas, mas exprimiram a composição quantitativa em “grãos por quartilho de agua”, o que lhes retira grande parte do seu valor científico, mesmo atendendo à época.

À semelhança da obra anterior, José Maria de Mello publica em 1868 “Descripção Do Valle Das Furnas” que dedica ao Visconde da Praia (Mello, 1868). O livro tem a particularidade de ser em quadras rimadas e conter um prólogo que resume o seu conteúdo, designado por “Advertencia” que se transcreve: “Nesta descripção se expõe um extracto de analyse chimica de suas aguas mineraes; e se prescreve a que molestias se devem aplicar; e se designa o tempo em que o uso das Thermas é mais conviniente” (Mello, 1868). Fazendo jus à advertência enunciada, escolheram-se as seguintes duas quadras que dizem respeito respectivamente, à nascente Agua Azeda e às Caldeiras da Lagoa das Furnas:

“ D’Agua Azeda se nomeia		“ Junta a extensa lagoa
Uma limpida nascente	e	Na falda d’uma eminencia
Refrigera como a sóda,		Brotar do centro Se Vê
Com o seu frescor acescente”		Agua em forte effervescencia”

(José Maria de Mello, 1868)

Muitas outras informações, acerca das águas minerais de São Miguel, encontram-se em publicações periódicas, de que é exemplo o “Album Michaelense” (Abranches, 1869):

”Na distancia de tres kilometros da Ribeira Grande está o Valle das Caldeiras. A estrada que conduz a este romantico sitio, é bôa e acessivel a carruagens; sendo no verão muito concorrido por familias que vão gosar a fresquidão dos ares ou os banhos sulfuricos, aproveitaveis a muitas molestias”.

Em Março de 1857 chegou a São Miguel, António Porfírio Miranda, Cirurgião Mor da Província de Moçambique. Trazia a saúde arruinada e tendo sido submetido a uma inspecção sanitária, perante o antigo Conselho de Saúde Naval e do Ultramar, foi aconselhado ao uso de banhos das Caldas da Rainha que pediu para trocar pelos banhos da Estação das Furnas de São Miguel, por entender que as águas alcalinas combateriam mais eficazmente os seus sofrimentos.

Este médico tivera conhecimento da composição química das águas minerais do Vale das Furnas através do livro de Bullar & Bullar (1841). Não cabe aqui descrever as degradadas condições de alojamento e das casas de banho, mandadas construir pela Câmara de Vila Franca, que António Porfírio Miranda encontrou, mas, em Maio de 1860, tornou-se o Primeiro Director da Estação Médica do Vale das Furnas, tendo-se dedicado ao estudo terapêutico e fisiológico das águas e ao melhoramento da Estação Médica do Vale, criada pelo chefe do distrito, Dr. Felix Borges Medeiros, que juntamente com a Junta Geral, da qual se destaca o nome de Nicolao António Borges, se empenhou na alteração das condições de tratamento dos doentes. Com efeito, após numerosas diligências, que envolveram a Junta Distrital de Ponta Delgada e a respectiva autorização por parte do Governo de Sua Majestade, foi construído um Estabelecimento Balneo-Therapico (Miranda, 1876).

Na segunda metade do Século XIX as águas minerais do Vale das Furnas (São Miguel) tornaram-se cada vez mais conhecidas e suscitaram o interesse do poder político, não só em relação aos benefícios económicos que a sua valorização águas poderia trazer a ilha, mas também aos efeitos terapêuticos que poderiam produzir nos doentes. Nessa

medida a Junta Geral do Districto de Ponta Delgada chamou à ilha, em 1872, o eminente geólogo francês F. Fouqué, tendo-o encarregado de fazer as análises químicas às águas do Vale das Furnas.

Em Janeiro de 1873 chegou às mãos do Governador Civil de Ponta Delgada, Conde da Praia da Vitória, o relatório final dos trabalhos efectuados (Fouqué, 1873). De acordo com as deliberações prévias da Junta Geral, o documento 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” (1873).

No relatório de 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. A título de exemplo transcreve-se a composição química quantitativa da nascente do Padre José (Fig. 4.1).

SOURCE DE PADRE JOSÉ			
Données immédiates de l'analyse		Tableau interprétatif	
Acide carbonique.....	73	Bicarbonate de soude	214
Acide sulfurique.....	64	Bicarbonate de chaux....	31
Acide chlorhydrique	70	Bicarbonate de fer	20
Acide sulfhydrique.....	traces	Sulfate de soude	114
Silice.....	201	Chlorure de sodium	113
Soude.....	199	Silice	201
Chaux	12	Acide sulfhydrique.....	traces
Péroxyde de fer	10		
	629		693

Figura 4.1 - Composição química quantitativa da nascente Padre José (Fouqué, 1873).

A publicação da primeira análise quantitativa da água mineral das Lombadas data de 1888, nascente de água gasocarbónica localizada no Sistema Aquífero Água Pau e ainda não mencionada anteriormente. Esta análise é de autoria de Alfred Riche, “Membro da Academia de Medicina de Paris, professor de Química na Escola Superior de Farmácia de Paris” e de Charles Bardy perito junto ao “Tribunal Civil do Departamento do Sena” (Riche & Bardy, 1888). Estes autores referem ter 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.

Pouco tempo depois a água das Lombadas começou a ser explorada e engarrafada pela firma “Meyrelles”, como água de mesa. Na publicação “Água Carbo-Gazosa das Lombadas, ilha de S. Miguel (Açores)”, da responsabilidade da Typographia Industrial Portuguesa (1893), pode ler-se:

“A água das Lombadas é a água de mesa por excellencia; é a única que satisfaz a todas as condições exigidas para uma água de consumo ordinário, em larga escala, pela sua composição química, em que, junto à insignificante mineralização, predomina o ácido carbónico; não contendo germens perigosos ou suspeitos, nem principio algum nocivo”.

Rapidamente, a popularidade e uso da água de mesa das Lombadas (Fig. 4.2). se estendeu ao território continental, tendo sido atestado em 1904 que o CO₂ 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 Brazil, residentes em São Miguel (Freire, 1904).

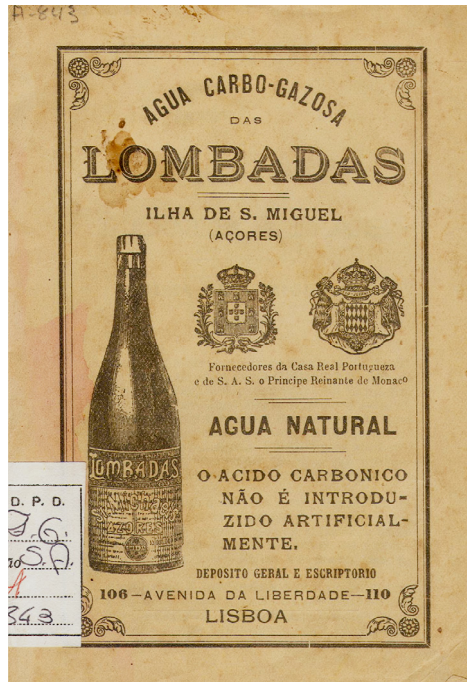


Figura 4.2 - Capa de publicação sobre a “Água das Lombadas” (Freire, 1904).

Em 1889 os responsáveis pela Estação Thermal das Furnas, Bruno Tavares Carreiro e Mont’Alverne de Sequeira elaboraram um relatório, notável sobre as condições existentes e as desejáveis que apresentaram à Junta Geral do Districto de Ponta Delgada. Neste relatório, pode ler-se (Carreiro & Sequeira, 1890):

“O que falta é a monographia, que não se fará de certo esperar por muito tempo (...),

N’este trabalho ficaria estudada a história, a lenda, a natureza geológica do solo, a hidrologia furnense, a therapeutica e a chimica das águas...”.

Os autores dão, ainda, indicações sobre os valores de caudal e temperatura das nascentes, Quenturas, Caldeira Grande, Água Azeda, Asmodeu, Padre José e Água Santa, apresentando, ainda as temperaturas das nascentes Água Fria, Sanguinhal e a do Hospital. Contudo, todos os valores referidos são os de Fouqué.

Em 1892 é publicada um livro da autoria de Alfredo Luiz Lopes, intitulado “Águas Minero-Medicinais de Portugal” em que às águas minero-medicinais de São Miguel é dada relevância em capítulo. Pode ler-se nessa obra (Lopes, 1892):

“ As aguas geysarianas das Furnas e Ribeira Grande da ilha de S. Miguel podem dividir-se, sob o ponto de vista da sua distribuição topographica em cinco grupos principais. Constituem o primeiro grupo as nascentes do Valle das Furnas, o segundo as das vizinhanças da Ribeira Grande, o terceiro o das nascentes da Ladeira Velha, o quarto as dos Mosteiros e Ponta da Ferraria e o quinto, mais modernamente explorado, as das Lombadas.”

Com excepção das nascentes dos Mosteiros e da Ponta da Ferraria são apresentados os valores da temperatura e as análises químicas quantitativas, quase todas referenciadas como de Fouqué, com excepção da nascente das Lombadas, atribuída a Riche e Bardy, e às nascentes da Ladeira Velha e Água Fria, que não mencionam o respectivo autor. Esta obra, compiladora do conhecimento das águas mineromedicinais do País, tem a inovação de mencionar no fim a bibliografia onde constam as obras que tiveram especial relevo no que diz respeito às águas de São Miguel, nomeadamente as de Gourlay (1791), Mouzinho de Albuquerque (1826), Bullar & Bullar (1841), Senna de

Freitas (1845), Fouqué e Mello Cabral (1873), Porfírio de Miranda (1876) e Carreiro & Sequeira (1890).

Data de Junho de 1911 o “Relatório das Águas Medicinaes da Ladeira Velha” da autoria do Dr. Jacinto Botelho Arruda e Dr. António da Silva Cabral (Arruda & Cabral, 1911). Este trabalho refere, entre outros aspectos a análise química efectuada em 1899, pelo Dr. Albretch Wellhâuser, a suspeita da existência de radioactividade, que os autores querem confirmar, submetendo-a aos “ estudos especiaes da celebre madame Currie, em Paris”, e descrições do sucesso do uso terapêutico destas águas no tratamento de doenças como eczemas e dermatoses.

Nos princípios do século XX, seguindo a orientação científica que começava a desenhar-se, e se traduzia por uma crescente sistematização do conhecimento científico, Francisco Affonso Chaves que se dedicara a estudar, de 1887 a 1905, a variação da temperatura das águas minerais das Furnas, na ilha de São Miguel refere (Chaves, 1906):

“Desde o começo do século XVII é reconhecida a acção benéfica de muitas das aguas mineraes das Furnas, no tratamento de algumas doenças, mas só em 1791 o medico inglês G. Gourlay publicou uma analyse (muito imperfeita) de taes aguas; em 1825 estudadas pelo eminente chimico português Mousinho de Albuquerque, por mandado do governo (...). Enquanto as observações de temperaturas das differentes nascentes só as ha bem imperfeitas”.

Afonso Chaves estudava o parâmetro temperatura das águas minerais e das Furnas não só pelo interesse geofísico, como pela relação da variação da temperatura com a alteração da composição química de uma água mineral, da maior importância quando ela fosse aplicada como agente terapêutico (Chaves, 1906). As observações de temperatura feitas por A. Chaves, juntamente com as disponíveis em trabalhos anteriores, de Webster, Mousinho de Albuquerque, Bullar e Fouqué, fazem parte de um quadro sintético da obra do autor, atrás referido (Fig. 4.3).

Figura 4.3 – Temperatura das águas minerais das Furnas (São Miguel - Açores) (Chaves, 1906).

A Junta Geral do Distrito de Ponta Delgada, em Maio de 1912 encarregou Charles Lepierre, professor do Instituto Técnico de Lisboa, de proceder às análises das águas minerais do Vale das Furnas. Charles Lepierre procedeu ao exame de quatro águas: da Caldeira Grande, as duas que alimentavam o 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.

Charles Lepierre elaborou um exaustivo relatório do seu trabalho que originou uma das mais determinantes obras sobre o tema, intitulado “Águas Minero-Medicinais do Vale das Furnas, ilha de S. Miguel (Açores)” (Lepierre, 1917).

A título de exemplo reproduz-se o resultado da análise da nascente Quenturas, efectuada por Lepierre (1917), que demonstra o valor científico do trabalho analítico realizado por aquele investigador (Fig. 4.4).

Quenturas	
QUADRO I	
Composição elementar (resultados analíticos directos)	
Temperatura da água em 12-8.º-1912.....	62,0
Densidade a 21º,8.....	0,9998
Índice de refração.....	$\Delta_D = 1,3335$ a 17º,5
Índice crioscópico.....	0º,08
Resíduo, seco a 180º.....	1º,0410
Resistividade a 18º.....	{ Conductancia multiplicada por $10^5 = 117$ Resistividade 852 ohms
Alcalinidade em centímetros cúbicos de licôr normal por litro	{ Observada..... 10º,9 Deduzida da composição da água..... 11º,11
Rádio-atividade.....	Contem emanação do rádio
Gazes dissolvidos a 0º e 760 mm (além do CO ²) por litro	{ Azote..... 12º,49 Oxigénio..... 1,69 Argon, etc..... 0,22 } 14º,40
Materias organicas indifferentes (em acido oxalico C ² O ⁴ H ² , 2H ² O)....	0º,0096 por litro
Resíduos halogénicos	
	(por litro)
Cloro.....	Cl..... 0º,067,6
Bromio.....	Br..... 0,001,0 (por metro cúbico)
Iodo.....	I..... 0,002,5 " " "
Flnor.....	F..... 0,000,2
Enxofre (dos sulfidatos etc.).....	S..... nenhum
Sulfatos (ou acido sulfurico).....	SO ⁴ 0,014,3
Acido hiposulfuroso.....	S ² O ³ nenhum
" fosfórico.....	PO ⁴ 0,001,3
" bórico.....	BO ² 0,000,15
Acido { silícico (silica).....	SiO ² 0,225,3
" " ".....	SiO ³ 0,285,4
Acido { carbónico (anhidrido).....	CO ² 1,070,6
" " ".....	CO ³ 1,459,9
Acido arsénico.....	AsO ⁵ 0,000,07
ou ".....	As..... 0,000,04
Acido nítrico.....	NO ³ 0,038,7
" nítrico.....	NO ² nenhum
" titânico (anhidrido).....	TiO ² 0,000,075
Metaes	
	(por litro)
Sódio.....	Na..... 0º,244,0
Potássio.....	K..... 0,007,8
Lítio.....	Li..... 0,002,1
Amónio.....	NH ⁴ 0,000,42
Magnésio.....	Mg..... 0,016,5
Cálcio.....	Ca..... 0,017,2
Bário.....	Ba..... 0,000,011
Estroncio.....	Sr..... 0,000,012
Alumínio.....	Al..... 0,000,2
Ferro.....	Fe..... 0,005,0
Manganés.....	Mn..... 0,001,5

Elementos raros	Cesio.....	Cs.....	vestígios nítidos em 50 litros.
	Rúbidio.....	Rb.....	" tenues " " "
	Níquel, Cobalto, Zinco, Urânio, Tântalo, Crómio.....		nulo em 467 litros.
	Cobre.....	Cu.....	0,0006 por metro cúbico,
	Chumbo.....	Pb.....	cêrca de 0,0005 por 497 litros.
	Estanho, Antimónio, Bismuto, Prata, Vanádio.....		nulos em 467 "

Figura 4.4 – Composição química quantitativa da nascente das Quenturas (Lepierre, 1917).

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 S. Miguel, mas seguiu outra classificação que julgou mais adequada para dar uma melhor ideia da riqueza e variedade das águas das Furnas e, consequentemente, que contribuísse para uma aplicação mais célere das diversas águas, por parte dos médicos. Segue-se a “Classificação Geral das Águas das Furnas” (Fig. 4.5).

Classificação geral das Águas das Furnas		
I — Águas Sulfúreas		
		N.º
1.º tipo—Hipertermais—Carbonatadas alcalinas :	{ Caldeira Grande	1
	{ Asmoden	2
2.º tipo—Termais—Bicarbonatadas sodicas e mixtas :	{ Chalet quente	3
	{ (Caldeirão)	
	{ Chalet frio	4
3.º tipo—Frias—Bicarbonatadas sodicas e mixtas :	{ Agua Prata	5
	{ Miguel Henriques	6
	{ Azeda	7
II — Águas sem Sulfuretos		
4.º tipo—Hipertermais—Carbonatos neutros alcalinos :	{ Agua Santa	8
	{ Quenturas	9
	{ Padre José	10
5.º tipo—Termais—Bicarbon. alc. e alc. terrosos e mixtos :	{ Torno	11
	{ Grutinha I	12
	{ Grutinha II	13
6.º tipo—Frias—Bicarb. alcal. e alcal. terrosos e mixtos :	{ «Dr. Bruno»	14
	{ «Dr. Diniz»	15

Figura 4.5 – Classificação geral das águas das Furnas segundo Charles Lepierre (Lepierre, 1917).

Seguidamente Charles Lepierre ordenou as Águas das Furnas segundo:

I - a temperatura (°C)

II - a alcalinidade (cm³/L)

III - o resíduo seco a 180 °C (g/L)

IV - a mineralização (g/L)

V - a reacção, **A** - alcalina e **B** - acidulas

VI - a sulfuração (mg de NaHS/L)

VII - os cloretos (mg/L)

VIII - os sulfatos (mg/L)

IX - o CO₂ total (mg/L)

X - o CO₂ livre (mg/L)

XI - a sílica (mg/L)

XII - o arsénio³⁺, em mg (NaHAsO₄)/L

XIII - o sódio (mg/L)

XIV - o potássio (mg/L)

XV - o cálcio (mg/L)

XVI - o magnésio (mg/L)

XVII - o ferro (mg/L)

XVIII - o lítio (mg/L)

XIX - a quantidade de carbonatos(**A**) e bicarbonatos(**B**)

A - Águas alcalinas g (M CO₃)/l; **B** - Águas acidulas g (M HCO₃)/L

XX - a riqueza relativa em metais alcalinos e alcalinos-terrosos (mg/L)

Na 1ª metade do séc. XX muitas foram as obras dedicadas às águas minerais de São Miguel, tendo como grande referência a obra de Lepierre (1917). Entre estas podem citar-se os trabalhos de Oliveira (1921), Pereira (1922, 1926), JGADPD (1930), D.G.M.S.G. & I.H.C.L. (1931), Narciso & Machado (1931), STN (1939), Acciaiuoli (1940, 1944, 1952), Carvalho (1955). A literatura de viagens continua também a apresentar abundante informação sobre as águas minerais de São Miguel (Dias, 1936).

Em 1944 é publicada a primeira das três obras mais importantes de Acciaiuoli; designada por “Águas de Portugal Minerais E De Mesa, História e Bibliografia”, é constituída por seis volumes, o último dos quais (VI) contém apenas uma extensa bibliografia, reunindo uma vastíssima informação sobre o assunto.

Acciaiuoli (1952) apresenta uma tabela das águas das regiões vulcânicas, que exemplifica cabalmente o modelo de análise vigente, relativamente às nascentes Caldeira Grande, Água Azeda, Quenturas, Dr. Bruno, Grutinha I, Chalet Quente ou Caldeirão, Caldeira do Asmodeu, Água Santa, Padre José e Chalet Frio, a partir dos dados de Lepierre (1917). Apresenta, ainda uma tabela de resultados analíticos das águas da região das Furnas, seguindo o modelo anteriormente referido onde figuram, as emergências Caldeira Grande, Caldeira do Asmodeu, Caldeira do Esguicho, Água Santa, Chalet Frio, Água Azeda, Miguel Henriques, Água de Prata, Chalet Quente ou Caldeirão, Padre José, Quenturas, Grutinha I, Grutinha II, Torno, Morangueira e Dr. Bruno, datadas de 1953, e da autoria do Engenheiro António Herculano de Carvalho.

Nas décadas de cinquenta e sessenta do século XX Herculano de Carvalho, impõe-se como autoridade nas análises das águas minerais do país. Recebe e cruza conhecimento científico com Charles Lepierre, de quem é discípulo, e com Luiz Acciaiuoli, de quem foi amigo e colaborador. A sua obra fundamental sobre as águas minerais de São Miguel intitulada, “Estudos Analíticos das Águas Termiais da Ilha de S. Miguel (Furnas e Ribeira Grande)” (Carvalho, 1955), obrigatoriamente referindo as referências a Fouqué e Lepierre.

Carvalho (1955) faz um enunciado sucinto dos métodos de análise por ele seguidos, que diferem sensivelmente dos de Charles Lepierre em 1912, nomeadamente para as determinações de pH, índice de refração, radioactividade, flúor, sulfato, borato, sílica, arsénio, sódio, potássio, magnésio, manganês, alumínio, ferro, chumbo, cobre, zinco, cádmio, bismuto e potencial redox.

Herculano de Carvalho apresenta em 1955 uma análise físico-química completa das 16 águas seguintes: 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. Estas análises foram seguidas de “verificação de resultados”, “classificação e comentários” e “comparação com análises anteriores”, sempre que possível.

Com base nos resultados obtidos Herculano Carvalho apresentou também uma nova classificação para as águas do Vale das Furnas, que alargou a outras de São Miguel que analisou posteriormente, baseada no pH e na temperatura, a partir dos resultados das análises efectuadas. Esta classificação é constituída por sete grupos (Carvalho, 1955):

1. Águas alcalinas, hipertermais
2. Levemente acídulas, hipertemais
3. Acídulas, frias que se subdividiu em, IIIA - Águas fluoretadas $1,2 < |F^-| < 2,0$ mg/L e IIIB- Águas não fluoretadas $|F^-| < 1,0$ mg/L
4. Acídulas, hipertermais
5. Neutras, frias
6. Neutras, mesotemais
7. Águas ácidas hipertermais

Segundo Herculano de Carvalho as designações adoptadas com base no pH são:

Águas alcalinas	pH>7,25
Águas Neutras	6,75<pH<7,25
Águas francamente acídulas.....	6,0<pH<6,75
Águas acídulas.....	4,4<pH<6,0
Águas ácidas.....	pH< 4,4

Além das análises das águas que lhe tinham sido encomendadas pela D.G.M.S.G, Herculano de Carvalho efectuou outras, em Agosto de 1954, a título particular, englobando as seguintes emergências:

Água da Ladeira Velha, Água dos “Banhos Férreos” das Furnas, Água da Serra do Trigo, Água das Lombadas, Água de Cabaços (ou do Cabaço), Sanguinhal I, Chã de Carvalhos (bica esquerda e direita), (águas minerais) e Camarça, Pedra do Galego e Gloria Patri (águas potáveis).

Os resultados dos estudos analíticos das águas minerais e termais das Furnas de Herculano Carvalho, foram utilizados numerosos trabalhos de Geologia, nomeadamente sobre os Complexos Vulcânicos de S. Miguel.

O trabalho “Étude Géologique de la Région de Furnas dans L’Île de S. Miguel (Açores) de Castello Branco *et al* (1957), contém um mapa onde figura a distribuição dos diferentes tipos de águas minerais das Furnas. Baseando-se nos estudos detalhados de Carvalho (1955), e na sua classificação das águas das Furnas e atendendo à distribuição das nascentes minerais são indicados três agrupamentos das mesmas: um central, constituído pelas Caldeiras com águas alcalinas hipertermais, um grupo de nascentes fracamente aciduladas hipertermais, localizado a SW do grupo precedente (com excepção do Caldeirão situada a Norte e a Água Férrea da Câmara, a Oeste); o terceiro grupo constituído por águas acidulas frias fluoretadas localizadas na direcção E-W, relativamente às caldeiras (com excepção da nascente Dr. Bruno).

A partir de diagramas logarítmicos compararam-se as análises de Lepierre (1917) com as de Carvalho (1955), mas foram apresentados apenas cinco diagramas baseados nas análises deste último relativas as nascentes dos grupos I, II, IIIA, IIIB e IV. Partindo da hipótese que as águas da mesma origem geológica apresentavam diagramas logarítmicos semelhantes e após a comparação dos cinco diagramas logarítmicos estabelecidos para as águas das nascentes referidas considerou-se, quanto à sua origem geológica, as seguintes cinco subdivisões:

1. Caldeira Grande (tipo I).
2. Água Férrea da Câmara (tipo II).

3. Quenturas e Caldeirão (tipo II).
4. Chalet Frio (tipo IIIA).
5. Dr. Bruno (tipo IIIA); Serra do Trigo, Lombadas e Ladeira Velha (tipo IIIB);
Cabaços (tipo IV).

Castello Branco *et al.* (1957) concluíram então que o esclarecimento da origem geológica de todas as riquezas hidrológicas das Furnas só seria possível quando se dispusesse de análises mais detalhadas sobre as que constituíam os tipos V, VI e VIII

Durante a década de sessenta e princípios da década de setenta do séc. XX, as águas minerais de São Miguel não foram objecto de nenhum estudo analítico de vulto, e tudo que foi sendo publicado estava filiado no legado de Carvalho (1955).

A prospecção e exploração geotérmica induziram a realização de um conjunto alargado de novos estudos respeitantes às águas minerais de São Miguel, e em Forjaz (1994) resume-se o historial do projecto geotérmico, que deu origem a variadas contribuições científicas, entre as quais Zbyszewski (1970), Muecke *et al.* (1974), I.S.M.H.C. (1982), Afonso *et al.* (1994), Trota & Forjaz (1995) e Trota (1998).

O trabalho “New Investigations on thermal manifestations of S. Miguel (Azores)” (Bencini *et al.*, 1982), fornece novas análises sobre as águas minerais de São Miguel, nomeadamente as emergências de Água de Prata, Miguel Henriques, Água Santa, Caldeirão, Água Azeda do Rebentão, Caldeira do Esguicho, Caldeira Grande, Dr. Diniz, Chalet Frio, Água Azeda, Caldeira dos Vimes, Caldeiras da Ribeira Grande e Caldeira Velha (fumarola).

A passagem do Instituto Politécnico dos Açores a Universidade dos Açores trouxe novas e alargadas possibilidades à investigação científica na região, nomeadamente no que diz respeito à criação do Centro de Vulcanologia do Departamento de Geociências, hoje Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, bem como a criação do Instituto de Inovação Tecnológica dos Açores (INOVA).

Relativamente ao enriquecimento do conhecimento físico-químico das águas minerais, foi iniciada em 1987 a monitorização de diferentes parâmetros físicos e químicos com o objectivo de estabelecer linhas de base para a monitorização da actividade vulcânica.

Deste período mais recente de actividade científica podem referir-se alguns trabalhos marcantes para o conhecimento relativo às águas minerais dos Açores, e nomeadamente de São Miguel, como Coutinho (1990), Gaspar *et al.* (1991), Ferreira (1994), Forjaz & Serralheiro (1994), Louvat (1997), Cruz *et al.* (1999), Carvalho (1999), Aguiar (1999), IGM (1999), Cruz (2003), Cruz & França (2006) e Terroso (2005).

No último biénio, o projecto HYDROVULC foi desenvolvido pelo Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos, com o objectivo de proceder ao estudo hidrogeoquímico das águas minerais dos Açores, relacionando esta temática com a mitigação de riscos naturais, o que comporta um óbvio impacte socio-económico positivo.

O referido projecto assentava numa abordagem integrada, que assentava na caracterização do enquadramento geológico e hidrogeológico das emergências, na investigação pormenorizada da composição química das águas minerais e no enquadramento destas águas em redes de vigilância vulcânica.

5. BASE DE DADOS HYDROVULC

Uma das grandes dificuldades com que os hidrogeólogos se confrontam é a enorme quantidade e dispersão de dados analíticos físico-químicos, relativos às águas minerais dos Açores, e particularmente da ilha de São Miguel.

Para ultrapassar esta dificuldade recorreu-se ao auxílio de um sistema electrónico de armazenamento e gestão de dados. Estes Sistemas tem a vantagem de concentrar a informação, impedir o seu desaparecimento e proporcionar, simultaneamente métodos simples, rápidos e rigorosos de consulta, de cruzamentos e de adição de dados (Gaspar, 1988).

A base de dados Hydrovulc insere-se no âmbito do projecto de investigação HYDROVULC apoiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do financiamento plurianual ao Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos da Universidade dos Açores, que compreende cinco etapas:

- a) Compilação de dados históricos;
- b) Enquadramento geológico e hidrogeológico;
- c) Realização de amostragens e de análises químicas das águas;
- d) Desenvolvimento de uma base de dados hidrogeoquímicos;
- e) Integração de dados e modelação geoquímica.

A compilação de dados históricos e recentes foi realizada com base numa exaustiva consulta bibliográfica, recolha e validação dos dados hidrogeoquímicos, como referido no capítulo 4.

O enquadramento geológico e hidrogeológico fez-se a partir da georeferenciação dos pontos de água mineral existentes na ilha de São Miguel, no Sistema de Coordenadas UTM WGS84-Fuso 25 S, o que proporcionou o conhecimento da localização e distribuição geográficas e altimetria, inserindo simultaneamente tais pontos de água mineral no respectivo contexto geomorfológico, vulcanológico e hidrogeológico (capítulo 3). A georeferenciação foi ainda alvo de reconfirmação no campo, para que a localização fosse a mais exacta possível.

A realização de amostragens e das subsequentes análises químicas de águas minerais enquadrou-se nas campanhas que decorreram em 2005 e 2006. Nestas campanhas, em cada ponto de água mineral, eram recolhidos 2000 mL de água, em duas garrafas de polietileno de capacidade igual a 1000 mL; o conteúdo de uma das garrafas era utilizado para a medição imediata da temperatura, do pH, e da condutividade eléctrica, seguida da determinação do CO₂ livre e da alcalinidade (concentração de HCO₃⁻). O conteúdo da outra garrafa de 1000 mL destinava-se à determinação laboratorial da concentração do ião cloreto e do ião sulfato.

A seguir à recolha dos 2000 mL de água, citada anteriormente, enchiam-se mais dois frascos de 100 mL e um frasco de 250 mL, com água filtrada e estabilizada por HNO₃.

Um dos frascos de 100 mL, filtrado a 0,1 μm era enviado para o Activation Laboratories (Canadá) e o frasco de 250 mL filtrado a 0,45 μm enviado ao INOVA/Divisão laboratorial, para análise de catiões e aniões. O outro frasco de 100 mL ficava como reserva, convenientemente guardado no frio.

A base informatizada de dados hidrogeoquímicos foi antecedida pelo preenchimento, adaptado e extensivo ao universo de águas minerais e termais dos Açores, de fichas em suporte físico, HIDABASE, já existentes. No preenchimento destas fichas em papel fez-se a uniformização de unidades relativas aos parâmetros físico-químicos: caudal (L/s), condutividade eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), alcalinidade (mg/L de CaCO_3), concentração dos elementos maiores (mg/L), concentração dos elementos menores ($\mu\text{g}/\text{L}$) e CO_2 livre (mg/L).

A partir desta base de dados, elaborou-se um software de dois módulos, um contendo uma base de dados em ACCESS e o outro uma interface com aplicação ao windows, desenvolvida em DELPHI, para a gestão da base de dados, que constitui o arquivo HYDROVULC (em Anexo).

5.1. ESTRUTURA

A estrutura da base de dados HYDROVULC é constituída por uma coluna vertical, à esquerda, designada por “LOCALIDADES”, onde figuram por ordem alfabética os pontos de água mineral dos Açores; na parte inferior desta coluna existe o botão “LOCALIDADES”, que dá acesso a uma janela que informa acerca do número de análises existentes na base de dados para o ponto de água escolhido; seleccionando sobre a “Localidade” aparece nova janela contendo o nome da localidade (ponto de água mineral), a ilha, as coordenadas M (m) e P (m) no sistema UTM WGS84 e o tipo de captação (nascente, furo, fumarola ou poço de maré).

Acoplada à coluna vertical encontra-se uma tabela horizontal sobre a qual existem cinco funções de análise, “Max.”, “Ver Período”, “Adicionar”, “Filtrar” e “Eliminar”. Esta tabela horizontal contém diversos dados, em células, a primeira das quais é “localidade” (ponto de água mineral) que quando seleccionada abre uma janela que contém o nome e ano da publicação, o(s) autor/autores ou a instituição, o autor e ano da análise, visto que esta pode ou não corresponder aos da publicação, a data e a hora da análise; esta janela contém ainda o estado da maré (baixa, intermédia e cheia) e parâmetros físico-químicos sempre pela mesma ordem, a saber: caudal (L/s); temperatura, T (°C), pH, CO₂ livre (mg/L), O₂ livre (mg/L), SDT (mg/L), condutividade eléctrica (µS/cm), alcalinidade (mg/L de CaCO₃), Suf.Total (mg/L), Na (mg/L), K (mg/L), Mg (mg/L), Ca (mg/L), B (µg /L), F (mg/L), Cl (mg/L), Br (mg/L), SiO₂ (mg/L), HCO₃ (mg/L), SO₄ (mg/L), NO₃ (mg/L), NO₂ (mg/L), PO₄ (mg/L), NH₄ (mg/L), H₂S (mg/L), Li (µg/L), Sr (µg/L), Cr (µg/L), Mn (µg/L), Fe (µg/L), Cu (µg/L), Zn (µg/L), Cd (µg/L), Hg (µg/L), Al (µg/L), Pb (µg/L), As µg/L, Se (µg/L) e ¹³C (‰), ¹⁸O (‰), ³⁴S (‰).

Salienta-se que a atribuição da data da análise obedece aos seguintes critérios: conhecido o ano, mas desconhecido o mês atribui-se a data 30/6 a esse ano; conhecido o mês e o ano atribui-se como data o dia 15 do respectivo mês e ano; conhecidos a semana, o mês e o ano atribui-se como data o 3º ou 4º dia da respectiva semana, o mês e ano; quando o período da análise englobava dois meses seguidos atribui-se como data o último dia do primeiro mês.

A estrutura da base de dados HYDROVULC está desenhada de forma a permitir:

- a) Visualizar as análises físico-químicas para um dado ponto de água mineral e um determinado período;
- b) Eliminar o ponto de água mineral e/ou análise desse ponto;
- c) Adicionar nova análise de um ponto de água mineral ou novas análises de um novo ponto de água mineral;
- d) Filtrar parâmetros físico-químicos para visualização posterior em tabela ou gráfico;
- e) Comparar parâmetros físico-químicos de dois ou mais pontos de água mineral, em tabela ou gráfico.

5.2. COMPILAÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

A compilação de dados hidrogeoquímicos implicou, numa 1ª fase a uniformização da nomenclatura e das unidades utilizadas nas análises recolhidas, o que implicou a consulta de numerosas obras devotadas à química e que fossem contemporâneas das determinações mais antigas, essencialmente datadas do Séc. XIX e do princípio do Séc. XX. Foram, desta forma, consultados os trabalhos de Caventou (1816), Thenard (1817/1818), Albuquerque (1824), Rosé (1836), Hoefer (1845), Garnier (1845), Chancel (1867), Naquet (1867), Barata (1871), Silva (1876), Darzens (1911), Smith (1911), Rodrigues (1913), Gomes (1914), Basto (1918), Carvalho (1961), Partington (1962), Chang (1994) e Almeida (2002).

Escolheram-se onze análises do período de 1825 a 1998, que designamos por A, B, C, D, E, F, G, H, I, J e L, para exemplificar os principais problemas de nomenclatura e conversão de unidades com que nos deparámos para construir a base de dados HYDROVULC.

A - Água Azeda in Mouzinho Albuquerque & Pitta Menezes (1826).

<i>Composição sobre 1000 partes.</i>	
A'cido carbonico, livre.....	hum volume igual ao da agua.
Carbonato de ferro	0,007
Carbonato de cal	0,038
Carbonato de soda	0,140
Sulfato de soda	0,016
Hydro-chlorato de soda.....	0,048
Vestigios de materia organica.	

Figura 5.1 – Composição química da Água Azeda determinada em 1825, por Mouzinho Albuquerque & Pitta Menezes (1826).

As substâncias, carbonato de ferro, carbonato de cal, carbonato de soda, sulfato de soda e hydro-chlorato de soda correspondem na nomenclatura actual, respectivamente a carbonato de ferro (II), carbonato de cálcio, carbonato de sódio, sulfato de sódio e cloreto de sódio (Fig. 5.1), o que implica os seguintes cálculos estequiométricos.

a) Determinação de $[\text{Fe}^{2+}]$, a partir de $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$

$$M(\text{FeCO}_3) = 115,8 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Fe}^{2+}) = 55,8 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_3^{2-}) = 60,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = (2 \times 55,8 \times 0,007) / 115,8 = 3,37 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 3370 \text{ } \mu\text{g/L}$$

b) Determinação de $[\text{Ca}^{2+}]$, a partir de CaCO_3

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Ca}^{2+}) = 40,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_3^{2-}) = 60,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = (40,1 \times 0,038) / 100,1 = 0,01522 \text{ g/L}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 15,2 \text{ mg/L}$$

c) Determinação de $[\text{SO}_4^{2-}]$, a partir do Na_2SO_4

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{SO}_4^{2-}) = 96,1 \text{ g/mol}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = (96,1 \times 0,016) / 144,1 = 0,0108 \text{ g/L}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 10,8 \text{ mg/L}$$

d) Determinação de $[\text{CO}_3^{2-}]$

Para a concentração do ião CO_3^{2-} contribuem as substâncias, carbonato de ferro (II), carbonato de cálcio e carbonato de sódio.

d₁) Contribuição do FeCO_3

$$M(\text{FeCO}_3) = 115,8 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_3^{2-}) = 60,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = (60,0 \times 0,007) / 115,8 = 3,63 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 3,63 \text{ mg/L}$$

d₂) Contribuição do CaCO_3

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_3^{2-}) = 60,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = (60,0 \times 0,038) / 100,1 = 0,02277 \text{ g/L}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 22,8 \text{ mg/L}$$

d₃) Contribuição do Na_2CO_3

$$M(\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{CO}_3^{2-}) = 60,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = (60,0 \times 0,140) / 100,1 = 0,0839 \text{ g/L}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}] = 83,9 \text{ mg/L}$$

Assim,

$$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{TOTAL}} = \sum [\text{CO}_3^{2-}]_{d1} + [\text{CO}_3^{2-}]_{d2} + [\text{CO}_3^{2-}]_{d3}$$

$$[\text{CO}_3^{2-}]_{\text{TOTAL}} = 110,3 \text{ mg/L}$$

e) Determinação de $[\text{Cl}^-]$, a partir do NaCl

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Cl}^-) = 35,5 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Cl}^-] = (35,5 \times 0,048) / 58,5 = 0,0291 \text{ g/L}$$

$$[\text{Cl}^-] = 29,1 \text{ mg/L}$$

f) Determinação de $[\text{Na}^+]$ resulta de três contribuições: do Na_2CO_3 , do Na_2SO_4 e do NaCl.

f₁) Contribuição do Na_2CO_3

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106,0 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (2 \times 23,0 \times 0,14) / 106,0 = 0,06075 \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 60,8 \text{ mg/L}$$

f₂) Contribuição do Na_2SO_4

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (2 \times 23,0 \times 0,016) / 142,1 = 5,18 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 5,2 \text{ mg/L}$$

f₃) Contribuição do NaCl

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (23,0 \times 0,048) / 58,5 = 0,0189 \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 18,9 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Na}^+]_{\text{TOTAL}} = \sum[\text{Na}^+]_{b1} + [\text{Na}^+]_{b2} + [\text{Na}^+]_{b3}$$

$$[\text{Na}^+]_{\text{TOTAL}} = 84,9 \text{ mg/L}$$

B - Água das Quenturas in Fouqué (1873).

Données immédiates de l'analyse		Tableau interprétatif	
Acide carbonique.....	984	Bicarbonate de soude....	956
Acide sulfurique.....	15	Bicarbonate de chaux....	8
Acide chlorhydrique.....	69	Bicarbonate de fer.....	8
Silice.....	192	Sulfate de soude.....	26
Soude.....	469	Silice.....	192
Chaux.....	3	Chlorure de sodium.....	111
Peroxyde de fer.....	4		
	<u>1736</u>		<u>1301</u>

Figura 5.2 – Análise química da nascente das Quenturas efectuada por Fouqué (1873).

Como Fouqué apresentou simultaneamente uma tabela com dados imediatos da análise e tabela interpretativa (Fig. 5.2) cujos dados nela contidos serviram de base a estudos posteriores, tais como os de Lepierre (1917) e de Carvalho (1955), para análise comparativa com os seus próprios resultados analíticos. Para os cálculos estequiométricos foram utilizados maioritariamente os dados da figura 5.2, nomeadamente os relativos à tabela interpretativa de Fouqué que se baseou na nomenclatura e conhecimento químicos da época.

a) Determinação de concentração do íon bicarbonato, $[\text{HCO}_3^-]$

Para esta determinação há contribuições dos compostos NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ e $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

a₁) Contribuição do NaHCO_3

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84,0 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = (61,0 \times 0,956) / 84,0 = 0,69429 \text{ g/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 694,2 \text{ mg/L}$$

a₂) Contribuição do $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

$$M[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] = 162,1 \text{ g/L}$$

$$M(\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = (2 \times 61,0 \times 0,008) / 162,1$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 0,006 \text{ g/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 6,0 \text{ mg/L}$$

a₃) Contribuição do $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$

$$M[\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2] = 177,6 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = (2 \times 61,0 \times 0,008) / 177,6 = 0,0055 \text{ g/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 5,5 \text{ mg/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-]_{\text{TOTAL}} = \sum [\text{HCO}_3^-]_{a1} + [\text{HCO}_3^-]_{a2} + [\text{HCO}_3^-]_{a3}$$

$$[\text{HCO}_3^-]_{\text{TOTAL}} = 705,7 \text{ mg/L}$$

b) Determinação de $[\text{Na}^+]$ resulta de três contribuições: do NaHCO_3 , do Na_2SO_4 e do NaCl .

b₁) Contribuição do NaHCO_3

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84,0 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (23,0 \times 0,956) / 84,0 = 0,26176 \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 261,8 \text{ mg/L}$$

b₂) Contribuição do Na_2SO_4

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (2 \times 23,0 \times 0,026) / 142,1 = 0,00842 \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 8,4 \text{ mg/L}$$

b₃) Contribuição do NaCl

$$M(\text{NaCl}) = 58,5 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (23,0 \times 0,111) / 58,5 = 0,04364 \text{ g/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 43,6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Na}^+]_{\text{TOTAL}} = \sum [\text{Na}^+]_{b1} + [\text{Na}^+]_{b2} + [\text{Na}^+]_{b3}$$

$$[\text{Na}^+]_{\text{TOTAL}} = 313,8 \text{ mg/L}$$

Determinação de $[\text{Ca}^{2+}]$, a partir do $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$

$$M (\text{Ca}^{2+}) = 40,1 \text{ g/mol}$$

$$M [\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2] = 162,1 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = (40,1 \times 0,008) / 162,1 = 0,00197 \text{ g/L}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = 2,0 \text{ mg/L}$$

Determinação de $[\text{Fe}^{2+}]$, a partir de $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$

$$M [\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2] = 177,6 \text{ g/mol}$$

$$M (\text{Fe}^{2+}) = 55,8 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = (55,8 \times 0,008) / 177,6 = 0,0025 \text{ g/L}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 2,5 \text{ mg/L}$$

Determinação de $[\text{SO}_4^{2-}]$, a partir de Na_2SO_4

$$M (\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,1 \text{ g/mol}$$

$$M (\text{SO}_4^{2-}) = 96,1 \text{ g/mol}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = (96,1 \times 0,026) / 142,1 = 0,01768 \text{ g/L}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 17,6 \text{ mg/L}$$

Como a partir de $[\text{HCO}_3^-]$ se pode determinar a alcalinidade através da relação

$[\text{HCO}_3^-] = \text{alc.} \times 1,22$, e conhecida essa concentração pelos cálculos anteriores (alínea a)

vem:

$$[\text{HCO}_3^-] = 705,7 \text{ mg/L} \longrightarrow \text{alcalinidade} = 705,7 / 1,22 = 578,4 \text{ mg/L.}$$

C - Água das Lombadas in Riche & Bardy (1888).

ANALYSE QUANTITATIVA DA AGUA MINERAL
DAS
LOMBADAS
(Ilha de São Miguel, Açores)

Recebemos 24 garrafas, 19 estavam em perfeito estado e foram essas que nos forneceram a agua para a analyse.
A analyse deu

	Grammas	
Acido carbonico livre.....	1,7480	por litro
Acido carbonico combinado.....	0,0260	» »
Chloro.....	0,0130	» «
Silica.....	0,0890	» »
Cal.....	0,0068	» »
Peroxido de ferro.....	0,0037	» »
Peroxido de manganez.....	0,0030	» »
Potassa.....	0,0030	» »
Soda.....	0,0335	» »
Materias organicas.....	0,0470	» »
A agua evaporada a 100.º emquanto	0,225	

Fig. 5.3 – Análise quantitativa da água mineral das Lombadas (São Miguel - Açores), por Riche & Bardy (1888).

Tratamento da informação desta análise (Fig. 5.3):

- I. Ácido carbónico livre \leftrightarrow CO₂ livre;
- II. Ácido carbónico combinado \leftrightarrow CO₂ dissolvido;
- III. Cal \leftrightarrow CaO;
- IV. Potassa \leftrightarrow K₂O;
- V. Soda \leftrightarrow Na₂O.

Segundo Carvalho (1955), a água das Lombadas de Riche & Bardy apresenta uma concentração de ferro de 3,0 mg/L.

Determinação de $[Ca^{2+}]$ a partir de CaO.

$$M (CaO) = 56,1 \text{ g/mol}$$

$$M (Ca^{2+}) = 40,1 \text{ g/mol}$$

$$[Ca^{2+}] = (40,1 \times 0,0068) / 56,1 = 4,9 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$[Ca^{2+}] = 4,9 \text{ mg/L}$$

Determinação de $[K^+]$ a partir de K_2O .

$$M (K_2O) = 94,2 \text{ g/mol}$$

$$M (K^+) = 39,1 \text{ g/mol}$$

$$[K^+] = (2 \times 39,1 \times 0,0030) / 94,2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$[K^+] = 2,5 \text{ mg/L}$$

Determinação de $[Na^+]$ a partir de Na_2O

$$M (Na_2O) = 62,0 \text{ g/mol}$$

$$M (Na^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[Na^+] = (2 \times 23,0 \times 0,0335) / 62,0 = 24,8 \times 10^{-3} \text{ g/L}$$

$$[Na^+] = 24,8 \text{ mg/L}$$

Os valores encontrados são idênticos aos constantes no trabalho de Carvalho (1955), o que valida a interpretação e os cálculos efectuados.

D – Água da Ladeira Velha in Arruda & Cabral (1911).

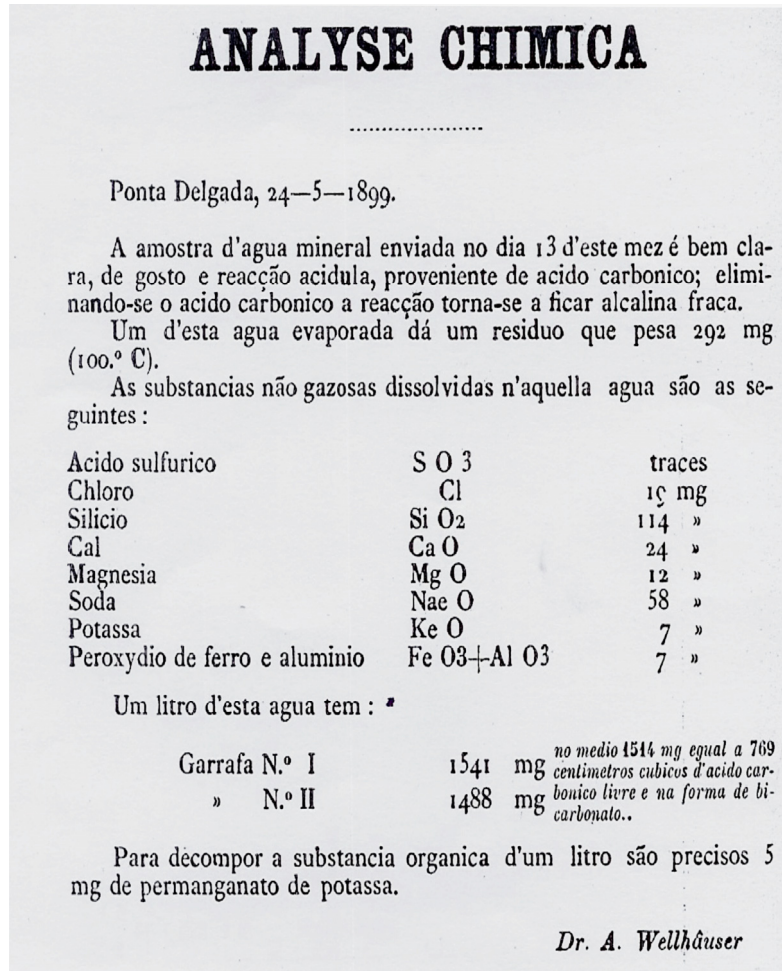


Figura 5.4 – Análise físico-química da água da Ladeira da Velha datada de 1899, em Arruda & Cabral (1911).

Julga-se que as fórmulas para a “Soda” (NaeO) e “Potassa” (KeO) apresentam uma gralha, nomeadamente que em ambos os casos em vez de “e” devia estar 2, em de acordo com a nomenclatura química de então (Fig. 5.4).

Embora não possam ser determinadas as concentrações de ferro e alumínio em virtude de tais elementos se encontrarem juntos sob a designação de “Peroxydio de ferro e alumínio” a fórmula apresentada $\text{FeO}_3 + \text{AlO}_3$ confirma a existência de ferro sob a forma de Fe^{3+} , ião de ferro mais comum em soluções de pH semelhante ao determinado posteriormente para este ponto de água mineral.

E – Água da Serra do Trigo in Oliveira (1921).

Resíduo sêco a 150 C.....	216,6	miligr.
» calcinado	197,6	»
Perda na calcinação.....	19,0	»
Acido carbónico.....	1915,0	»
» silícico	94,4	»
» sulfúrico.....	4,3	»
Cloro.....	18,6	»
Óxido de ferro.....	2,0	»
Cal.....	10,9	»
Magnésia.....	6,2	»
Potassa.....	14,9	»
Soda.....	35,1	»

Figura 5.5 - análise química da água da Serra do Trigo datada de 1900 e da autoria de Hugo Mastbaum, de acordo com Oliveira (1921).

Tratamento da informação desta análise (Fig. 5.5):

- I. Ácido carbónico $\leftrightarrow \text{CO}_2$ livre ;
- II. Ácido silícico $\leftrightarrow \text{SiO}_2$;
- III. Ácido sulfúrico $\leftrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$;
- IV. Óxido de ferro $\leftrightarrow \text{FeO}$;
- V. Cal $\leftrightarrow \text{CaO} \rightarrow [\text{Ca}^{2+}]$;
- VI. Magnésia $\leftrightarrow \text{MgO} \rightarrow [\text{Mg}^{2+}]$;
- VII. Potassa $\leftrightarrow \text{K}_2\text{O} \rightarrow [\text{K}^+]$;
- VIII. Soda $\leftrightarrow \text{Na}_2\text{O} \rightarrow [\text{Na}^+]$;

a) Determinação de $[\text{SO}_4^{2-}]$ a partir de H_2SO_4

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{SO}_4^{2-}) = 96,1 \text{ g/mol}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = (96,1 \times 4,3) / 98,1 = 4,2 \text{ mg/L}$$

b) Determinação de $[\text{Fe}^{2+}]$ a partir de FeO

$$M(\text{FeO}) = 71,8 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Fe}^{2+}) = 55,8 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = (55,8 \times 2) / 71,8 = 1,6 \text{ mg/L}$$

c) Determinação de $[\text{Ca}^{2+}]$ a partir de CaO

$$M(\text{CaO}) = 56,1 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Ca}^{2+}) = 40,1 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = (40,1 \times 10,9) / 56,1 = 7,8 \text{ mg/L}$$

d) Determinação de $[\text{Mg}^{2+}]$ a partir de MgO

$$M(\text{MgO}) = 40,3 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Mg}^{2+}) = 24,3 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = (24,3 \times 6,2) / 40,3 = 3,7 \text{ mg/L}$$

e) Determinação de $[\text{Na}^+]$ a partir de Na_2O

$$M(\text{Na}_2\text{O}) = 62,0 \text{ g/mol}$$

$$M(\text{Na}^+) = 23,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{Na}^+] = (2 \times 23,0 \times 35,1) / 62,0 = 26,1 \text{ mg/L}$$

f) Determinação de $[K^+]$ a partir de K_2O

$$M(K_2O) = 94,2 \text{ g/mol}$$

$$M(K^+) = 39,1 \text{ g/mol}$$

$$[K^+] = (2 \times 39,1 \times 14,9) / 94,2 = 12,4 \text{ mg/L}$$

No trabalho de Carvalho (1955) figura uma tabela com alguns resultados comparativos das análises efectuadas por este autor com os dados de outros investigadores. Nesta tabela encontram-se os valores de Mastbaum (1900), já transformados por Carvalho (1955), segundo a nomenclatura e unidades da sua época os quais coincidem com os determinados, o que valida a justeza da interpretação e cálculos estequiométricos utilizados.

F – Nascente das Quenturas in Lepierre (1917).

Esta análise realizada por Charles Lepierre é admirável não só para a época, como para épocas posteriores, tal como já referido no capítulo 4. Apresenta, para além da localização, valores de caudal, temperatura, exame organolético, reacções químicas gerais e densidade (exames preliminares). No entanto o caudal é expresso em 165 L/min ou aproximadamente 238700 L/dia (24h), o que teve de se uniformizado.

Nesta análise foram, uniformizados também o valor e a unidade apresentados para a alcalinidade observada.

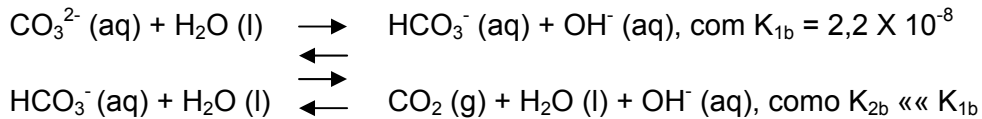
$$\text{Alcalinidade} = 10,9 \text{ cm}^3 \text{ de licor normal/L} \leftrightarrow 10,9 \text{ cm}^3 \text{ de solução normal de OH}^-/\text{L}$$

$$n(\text{OH}^-) = 10,9 \times 10^{-3} \times 1 = 10,9 \times 10^{-3} \text{ moles, logo}$$

$$[\text{OH}^-] = 10,9 \times 10^{-3} \text{ mol/L ou atendendo a que } M(\text{OH}^-) = 17 \text{ g/mol} = 17 \times 10^3, \text{ vem}$$

$$[\text{OH}^-] = 10,9 \times 10^{-3} \times 17 \times 10^3 = 18,53 \text{ mg/L.}$$

Ora de acordo com o equilíbrio químico,



despreza-se esta 2ª fase,

$[\text{HCO}_3^-] = [\text{OH}^-] = 10,9 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ e como $M (\text{HCO}_3^-) = 61,0 \text{ g/mol} = 61,0 \times 10^3 \text{ mg/mol}$, vem $[\text{HCO}_3^-] = 10,9 \times 10^{-3} \times 61,0 \times 10^3 = 664,9 \text{ mg/L}$, sendo a alcalinidade = $[\text{HCO}_3^-] / 1,22 = 664,9 / 1,22 = 545,0 \text{ mg/L}$.

A unidade de resistividade apresentada por Charles Lepierre é incoerente, atendendo à equação de definição de resistividade: ρ (resistividade) = $(R \times S) / l \rightarrow \Omega \times \text{m}$ (S.I.).

À época era frequente ser dado em $\Omega \times \text{cm}$, pelo que o valor da resistividade apresentado por Charles Lepierre seria $\rho = 852 \Omega \times \text{cm}$, o que conduz a uma condutividade igual ao inverso deste valor, condutividade = $1/\rho = 1,174 \times 10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ou na unidade uniformizada, condutividade = $1,174 \times 10^{-3} \times 10^6 \mu\text{S/cm} = 1,174 \times 10^3 \mu\text{S/cm} = 1174 \mu\text{S/cm}$.

A designação de “condutância” é fisicamente incorrecta; julga-se que Charles Lepierre queria dizer “condutividade”.

O valor apresentado por Charles Lepierre era condutividade = $117 \times 10^{-5} \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ ou atendendo a que $1 \Omega^{-1} = 1 \text{ S} = 10^6 \mu\text{S}$, vem condutividade = $117 \times 10 \mu\text{S/cm}$.

As concentrações apresentadas para os elementos maiores e menores tiveram de ser convertidas, respectivamente em mg/L (Ex: [Na] = 0,244 g/L = 244 mg/L) e µg/L (Ex: [Fe] = 0,005 g/l = 5000 µg/L).

G – Comparação entre a análise da água da Ferraria I, realizada por Charles Lepierre em 20 de Abril de 1932, in Acciaiuoli (1940), e transcrição da mesma com alguns lapsos, in Acciaiuoli (1953).

Ferraria I - Charles Lepierre (1932)	Ferraria I - Luiz Acciaiuoli (1953)
T = 62,5°C Mineralização total = 20.958,4 g/L	T = 62,5°C Mineralização total = 20.958,4 mg/L
[NaCl] = 16,982 g/L = 16982 mg/L	[Cl ⁻] = 318,2 mvals = 318,2 meq/L
[MgCl ₂] = 1,331 g/l = 1331mg/L	[SO ₄ ²⁻] = 27,2 mvals = 27,2 meq/L
[Ca(HCO ₃) ₂] = 0,7776 g/L = 777,6 mg/L	[HCO ₃ ⁻] = 9,6 mvals = 9,6 meq/L
[CaSO ₄] = 1,0752 g/L = 1075,2 mg/L	[Na ⁺] = 290,3 mvals = 290,3 meq/L
De acordo com os cálculos estequiométricos já exemplificados anteriormente vem:	[Ca ²⁺] = 25,4 mvals = 25,4 meq/L
[Na ⁺] = 6676,7 mg/L	[Mg ²⁺] = 39,3 mvals = 39,3 meq/L
[Cl ⁻] = 11296,9 mg/L	[SiO ₂] = 107,6 mg/L
[SO ₄ ²⁻] = 1305,6 mg/L	[C ₂ O ₄ H ₂ X 2H ₂ O] = 0,2 mg/L
[Ca ²⁺] = 508,3 mg/L	[Cl ⁻] = 318,2 / 0,02821 = 11279,7 mg/L
[HCO ₃ ⁻] = 585,2 mg/L	[SO ₄ ²⁻] = 27,2 / 0,02082 = 1306,4 mg/L
[Mg ²⁺] = 478,04 mg/L	[HCO ₃ ⁻] = 9,6 / 0,01639 = 585,7 mg/L
	[Na ⁺] = 290,3 / 0,04350 = 6673,6 mg/L
	[Ca ²⁺] = 25,4 / 0,04990 = 509,0 mg/L
	[Mg ²⁺] = 39,3 / 0,08226 = 477,8 mg/L

Nota₁: A % que segue o valor em mvals é lapso de Acciaiuoli (1953).

Nota₂: Para converter mvals em mg/L usa-se a expressão: X (mg/L) = Y (mvals)/ F, com F – Factor de conversão característico de cada espécie química e constante de tabelas conhecidas; F = 1/ meq → 1meq (Cl⁻) = 35,45 mg logo, F = 1/ 35,45 = 0,02821.

Nota₃: A mineralização correspondente ao cálculo relativo dos aniões é 13171,8 mg/L e não como está indicado 13186,0 mg/L; a razão deste facto, que conduziria a uma mineralização total diferente de 20958,4 mg/L, deve-se provavelmente a um lapso cometido por Acciaiuoli (1953), ao converter a concentração do cloro [Cl] = 11296,9 mg/L, de Charles Lepierre, em mvals.

Com efeito [Cl] = 11296,9 mg/L = 318,7 mvals e não 318,2 mvals como apresenta Acciaiuoli.

H – Água das Quenturas in Carvalho (1955).

Esta análise foi realizada por Herculano Carvalho, em 1953. Entre os vários parâmetros físico-químicos destacamos para reflexão e conversão os seguintes:

a) Caudal

$$\text{Caudal} = 36 \text{ L/min} = 0,6 \text{ L/s}$$

b) Condutividade eléctrica (25°C)

$$\text{Condutividade} = 13,0 \times 10^{-4} \text{ mho.cm}^{-1} = 13,0 \times 10^{-4} \text{ S.cm}^{-1}$$

Nota: á data da análise, segundo Almeida (2002) a unidade de condutância era o mho (inverso do ohm) e não o Siemens (S).

c) Alcalinidade

$$\text{Alcalinidade} = 11,70 \text{ mval}$$

Este valor é idêntico ao valor da concentração do ião bicarbonato (11,68 mval), mas de acordo com a definição de alcalinidade, $\text{Alc.} = [\text{HCO}_3^-] / 1,22$ virá $\text{Alc.} = 9,573 \text{ mval} = 584,1 \text{ mg/L}$.

É de notar que Herculano de Carvalho tinha a preocupação de apresentar a concentração das diferentes espécies químicas em diferentes unidades usadas até a data da análise (1953).

I - Análise da Água de Prata, in Bencini *et al* (1982).

Água de Prata (1982)
T (°C) = 32
pH = 5,51
σ (millimhos) = 0,31
Ca (meq/L) = 0,6
Mg (meq/L) = 0,3
Na (meq/L) = 2,2
K (meq/L) = 0,53
HCO_3 (meq/L) = 2,8
SO_4 (meq/L) = 0,47
Cl (meq/L) = 0,4
F (meq/L) = 0,11
Li (meq/L) = 0,003
NH_4 (meq/L) = 0,016
Sr (meq/L) = 0,023
Fe (meq/L) = 0,22
Mn (meq/L) = 0,021
B (milimoles) = 0,001
SiO_2 (milimoles) = 2,1

a) Condutividade eléctrica (σ)

$$\sigma = 0,32 \text{ milimhos} = 0,32 \times 10^{-3} \text{ mho} = 0,32 \times 10^{-3} \times 10^6 \mu\text{S/cm} = 320 \mu\text{S/cm}.$$

Não está indicado a unidade de comprimento, na tabela original da análise (Bencini *et al*, 1982), que deve figurar na expressão de uma condutividade eléctrica e que à data era cm.

b) Conversão de meq/L em mg/L

Podia ser usada a fórmula indicada anteriormente, $X(\text{mg/L}) = Y(\text{mvals}) / F$, com F - Factor de conversão característico de cada espécie química e constante de tabelas conhecidas ou $Y(\text{mg/L}) = X(\text{meq/L})$, com X = valor do meq (mg), sendo meq = M(massa molar) / n(carga do ião) (mg).

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0,60 \times 20,05 = 12,0 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Mg}^{2+}] = 0,30 \times 12,15 = 3,6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Na}^+] = 2,2 \times 23,0 = 50,6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{K}^+] = 0,53 \times 39,1 = 20,7 \text{ mg/L}$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 2,8 \times 61,0 = 170,8 \text{ mg/L}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0,47 \times 48,05 = 22,6 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Cl}^-] = 0,40 \times 35,45 = 14,2 \text{ mg/L}$$

$$[\text{F}^-] = 0,11 \times 19,0 = 2,1 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Li}^+] = 0,003 \times 6,9 = 0,021 \text{ mg/l} = 21 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$[\text{NH}_4^+] = 0,016 \times 18,0 = 0,29 \text{ mg/L}$$

$$[\text{Sr}^{2+}] = 0,023 \times 43,81 = 1,008 \text{ mg/l} = 1008 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$[\text{Fe}^{2+}] = 0,22 \times 27,5 = 6,1 \text{ mg/L} = 6100 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$$[\text{Mn}^{2+}] = 0,021 \times 27,45 = 0,576 \text{ mg/l} = 576 \text{ } \mu\text{g/L}$$

c) Conversão de mmol/L em mg/l ou µg/L

$$[\text{SiO}_2] = 2,1 \text{ mmol/L} = 2,1 \times 60,1 = 126,2 \text{ mg/L}$$

$$M (\text{SiO}_2) = 61,0 \text{ g/mol}$$

$$[\text{B}] = 0,001 \text{ mmol/L} = 0,001 \times 10,8 = 0,0108 \text{ mg/L}$$

$$= 10,8 \text{ µg/L}$$

$$M (\text{B}) = 10,8 \text{ g/mol}$$

J – Análise da água Caldeira da Ribeira Grande Férrea in Carvalho (1999).

Esta análise apresenta o teor dos elementos menores em ppb; 1 ppb = 1 µg/L, logo:
 $[\text{Mn}^{2+}] = 363,36 \text{ ppb} = 363,36 \text{ µg/L}$; $[\text{Cu}^{2+}] = 1,71 \text{ ppb} = 1,71 \text{ µg/L}$; $[\text{Zn}^{2+}] = 48,12 \text{ ppb} = 48,12 \text{ µg/L}$;
 $[\text{Sr}^{2+}] = 7,32 \text{ ppb} = 7,32 \text{ µg/L}$; $[\text{Br}^-] = 158 \text{ ppb} = 158 \text{ µg/L}$; $[\text{As}] = 0,65 \text{ ppb} = 0,65 \text{ µg/L}$.

L - Análise da água Ladeira da Velha in I.G.M. (1999).

A alcalinidade desta análise, bem como das restantes contidas neste estudo, está expressa em ml/L HCl 0,1M, e foi convertida em mg/L de CaCO₃, de acordo com a definição de alcalinidade utilizada nesta dissertação.



$$\text{Alcalinidade} = 23,0 \text{ ml/L HCl } 0,1$$

$$n (\text{HCl}) = C \times V = 0,1 \times 23,0 \text{ mmol} = 2,30 \text{ mmol}$$

$$n (\text{CaCO}_3) = n (\text{HCl}) / 2 = 1,15 \text{ mmol}$$

$$M (\text{CaCO}_3) = 100,1 \text{ g/mol}$$

$$\text{Alcalinidade} = 1,15 \times 100,1 = 115,1 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

Determinando a alcalinidade a partir de [HCO₃⁻] vem:

$$\text{alc} = [\text{HCO}_3^-] / 1,22 \text{ como, } [\text{HCO}_3^-] = 140 \text{ mg/L então, alc} = 140 / 1,22 \text{ de CaCO}_3$$

$$= 114,8 \equiv 115,1 \text{ mg/L de CaCO}_3, \text{ valor idêntico ao anterior.}$$

6. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS MINERAIS DE SÃO MIGUEL

A Hidrogeoquímica estuda a composição química das águas naturais, as suas variações e as causas naturais ou antropogénicas que as determinam.

Uma das vias para se compreender os processos geoquímicos que ocorrem num dado sistema vulcânico é estudar o quimismo da água, pela análise das substâncias nela contidas, pois a composição química da água subterrânea depende, entre outros factores modificadores, da interacção água-rocha, ocorrida durante a sua permanência nos aquíferos (Cruz, 1992).

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 a precipitação de minerais de neoformação (Cruz, 1992).

À semelhança do que acontece noutras formações geológicas, as características químicas das águas subterrâneas de ilhas vulcânicas, dependem da composição da água da chuva, do clima, das características químicas e físicas da rocha, agressividade da água, tempo de contacto e estado de alteração da rocha (Custódio, 1978 *in* Carvalho, 1999).

Assim sendo, 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).

Em regiões de vulcanismo activo, a ocorrência de sistemas hidrotermais em profundidade afecta, igualmente, a composição química das águas de circulação mais superficial. 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 CO₂ e algum H₂S que provocam uma rápida alteração e dissolução das rochas, especialmente a temperaturas elevadas (Carvalho, 1999).

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 conseqüentemente águas pouco mineralizadas (Carvalho, 1999).

No âmbito do projecto HYDROVULC, desenvolvido pelo CVARG/UA levou-se a cabo um exaustivo levantamento dos pontos de água mineral dos Açores. Este trabalho, que decorreu entre 2005 e 2006 foi efectuado em todas as ilhas do arquipélago onde ocorrem estas águas e os resultados analíticos obtidos estão igualmente considerados na base de dados descrita no capítulo anterior.

O domínio geográfico da presente dissertação circunscreve-se à ilha de São Miguel, enquanto os resultados referentes às outras ilhas são abordados no trabalho de Costa (2006). Nas tabelas dos anexos IV e V encontram-se listados os resultados obtidos para a ilha de São Miguel, que servirão de base à caracterização hidrogeoquímica que se efectuará em separado.

6.1. 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 CO₂ livre, sofreram um tratamento estatístico. Para o efeito distribuíram-se os pontos de água mineral pelos três Sistemas Aquíferos onde estão localizados, respectivamente Furnas-Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, acrescentando para cada parâmetro, o valor obtido considerando o total de amostras na ilha de São Miguel. Para cada parâmetro, indica-se o número de amostras, a média, o desvio padrão, o máximo, o mínimo e a mediana (Tabela 6.1).

Assim relativamente ao parâmetro temperatura foram analisadas 45 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, que apresentam um máximo de 99,5 °C, um mínimo de 15,0 °C, uma média de 44,0 °C. 22 dessas amostras têm temperatura inferior a 39,0 °C (mediana) e outras 22 amostras têm temperatura superior a 39,0 °C. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 23 amostras que apresentaram um máximo de temperatura de 93,7 °C, um mínimo de 15,2 °C, sendo que 11 amostras têm temperatura inferior a 27,5 °C e 11 amostras têm temperatura superior a 27,5 °C. Para o Sistema Aquífero Sete Cidades foram analisadas 6 amostras, com um máximo de 67,7 °C, um mínimo 32,8 °C, sendo que 3 amostras têm temperatura inferior a 57,5 °C e outras 3 têm temperatura superior a esta. Observa-se, ainda, que é neste Sistema Aquífero onde se encontram temperaturas mais próximas entre si (menor desvio padrão, 13,1 °C), evidenciado também pelo facto do valor médio da temperatura das 6 amostras, analisadas (53,5 °C), se aproximar da mediana

(57,5 °C). Na ilha de São Miguel foram analisadas 74 amostras, sendo que o máximo e o mínimo, respectivamente 99,5 °C e 15,0 °C pertencem ambos ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação.

No que diz respeito ao parâmetro pH, foram analisadas 45 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, apresentando um valor máximo de 7,7 (valor ligeiramente alcalino), um mínimo de 2,8 (valor muito ácido) e uma média de 5,8 (valor ácido). 22 amostras têm pH inferior a 5,9 e outras 22 têm pH superior a 5,9 que corresponde ao valor da mediana. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 23 amostras, com um valor máximo de pH igual a 6,4, um mínimo de 2,2 (ambos ácidos), uma média de 4,8. 11 amostras apresentam pH inferior à média (5,0) e 11 amostras apresentam pH superior a 5,0. Para o Sistema Aquífero Sete Cidades foram analisadas 5 amostras, com um pH máximo de 6,4, um mínimo de 5,8, e a média e mediana iguais ao valor de 6,1. Na ilha de São Miguel foram analisadas 73 amostras, sendo que o máximo observado (7,7) pertence ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação e o mínimo (2,2) pertence ao Sistema Aquífero Água de Pau. A média de pH é igual a 5,5 e mostra que os pontos de água mineral na ilha de São Miguel são francamente ácidos.

Relativamente ao parâmetro condutividade eléctrica foram analisadas 45 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, tendo sido observado um máximo de 2350,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, um mínimo de 139,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma média de 945,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que configura uma grande dispersão de valores. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 23 amostras, com um máximo de 10800,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, um mínimo de 158,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma média de 1057,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 11 amostras apresentam condutividade inferior a 360,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (mediana) e

outras 11 amostras apresentam condutividade superior a 360,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que estas últimas devem ter valores elevados de condutividade, atendendo ao valor da média. O valor do desvio padrão (2237,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$), 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. No Sistema Aquífero Sete Cidades foram analisadas 5 amostras, com um valor máximo de 28000,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, um mínimo de 4220,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, uma média de 19912,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e uma mediana de 20200,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o que permite inferir que é neste Sistema Aquífero onde a mineralização das águas é maior. Na ilha de São Miguel foram analisadas 73 amostras, observando-se um máximo de 28000,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e um mínimo de 139,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, observadas respectivamente nos Sistemas Aquíferos das Sete Cidades e do Sistema Aquífero Furnas-Povoação. O valor do desvio padrão (5474,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$) é superior ao dobro do valor da média (2277,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$) o que espelha a grande diversidade da mineralização dos pontos de água mineral na ilha de São Miguel.

No que diz respeito ao parâmetro alcalinidade foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, com um valor médio de 367,4 mg/L, um máximo de 952,0 mg/L, um mínimo de 10,5 mg/L. 22 amostras têm alcalinidade inferior a 292,5 mg/L e 22 amostras têm alcalinidade superior a 292,5 mg/L que é o valor da mediana. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 19 amostras, com uma média de 115,8 mg/L, um máximo 304,1 mg/L, um mínimo 15,0 mg/L. 9 amostras têm alcalinidade inferior a 72,5 mg/L e 9 amostras têm alcalinidade superior a 72,5 mg/L (mediana). No Sistema Aquífero Sete Cidades, foram analisadas 6 amostras, com um valor médio de 487,6 mg/L, um máximo de 505,7 mg/L, um mínimo de 454,0 mg/L e uma mediana 493,7 mg/L. Na ilha de São Miguel foram analisadas no total 69 amostras, com um valor máximo 952,0 mg/L,

mínimo de 10,5 mg/L, ambos observados no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. O valor médio de alcalinidade mais elevado regista-se no Sistema Aquífero Sete Cidades e o mais reduzido no Sistema Aquífero Água de Pau, o que está de acordo com os valores médios de pH observados anteriormente, e que são respectivamente iguais a 6,1 e 4,8. O valor médio da alcalinidade no Sistema Aquífero Furnas-Povoação é intermédio relativamente aos referidos anteriormente e o pH também (5,8). É no Sistema Aquífero Sete Cidades onde se encontra maior uniformidade de valores de alcalinidade, teor mais elevado em HCO_3^- , como o atestam o pequeno desvio padrão (18,8 mg/L) e os valores próximos para a média e mediana, respectivamente iguais a 487,6 mg/L e 493,7 mg/L.

Quanto ao dióxido de carbono livre foram analisadas 43 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, com uma média de 400,6 mg/L, um máximo igual 1126,2 mg/L, um valor mínimo de 8,2 mg/L. 21 amostras têm CO_2 livre inferior a 406,1 mg/L e 21 amostras têm CO_2 livre superior àquele valor de mediana. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 22 amostras, com uma média de 556,4 mg/L, um valor máximo de 1126,2 mg/L e um mínimo de 90,0 mg/L. No Sistema Aquífero Sete Cidades foram analisadas 3 amostras, média 344,9 mg/L, máximo 382,0 mg/L, mínimo 314,4 mg/L. Na ilha de São Miguel foram analisadas 68 amostras de água mineral, com um valor máximo igual a 1126,2 mg/L, observado nos Sistemas Aquíferos, Furnas-Povoação e Água de Pau, um mínimo de 8,2 mg/L, pertencente ao Sistema Aquífero Sete Cidades. Os Sistemas Aquíferos de 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 4,8, 5,8 e 6,1.

Parâmetros Físico-Químicos	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média	D. Padrão	Máximo	Mínimo	Mediana
Temperatura (°C)	Furnas -Povoação	45	44,0	27,5	99,5	15,0	39,0
	Água de Pau	23	33,4	21,1	93,7	15,2	27,5
	Sete Cidades	6	53,5	13,1	67,7	32,8	57,5
	Ilha de São Miguel	74	41,5	25,2	99,5	15,0	35,6
Condutividade (µs/cm)	Furnas -Povoação	45	941,2	612,8	2350,0	139,0	789,0
	Água de Pau	23	1057,2	2237,2	10800,0	158,0	360,0
	Sete Cidades	5	19912,0	9513,5	28000,0	4220,0	20200,0
	Ilha de São Miguel	73	2277,1	5474,9	28000,0	139,0	587,0
pH	Furnas -Povoação	45	5,8	0,9	7,7	2,8	5,9
	Água de Pau	23	4,8	1,2	6,4	2,2	5,0
	Sete Cidades	5	6,1	0,2	6,4	5,8	6,1
	Ilha de São Miguel	73	5,5	1,1	7,7	2,2	5,7
Alcalinidade (mg/L)	Furnas -Povoação	44	367,4	286,8	952,0	10,5	292,5
	Água de Pau	19	115,8	105,5	304,1	15,0	72,5
	Sete Cidades	6	487,6	18,8	505,7	454,0	493,7
	Ilha de São Miguel	69	308,6	265,4	952,0	10,5	226,0
Dióxido de Carbono Livre (mg/L)	Furnas -Povoação	43	400,6	289,4	1126,2	8,2	406,1
	Água de Pau	22	556,4	305,3	1126,2	90,0	535,8
	Sete Cidades	3	344,9	34,3	382,0	314,4	338,2
	Ilha de São Miguel	68	448,5	295,9	1126,2	8,2	423,8

Tabela 6.1 – Parâmetros físico-químicos: temperatura (°C); condutividade (µS/cm); pH; alcalinidade (mg/L); CO₂ livre (mg/L).

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) e o Magnésio (Mg), 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 Sistema Aquífero e para o total de amostras na ilha de São Miguel (Tabela 6.2).

Relativamente ao sódio foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 amostras no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 amostras no Sistema Sete Cidades, o que configura um total para a ilha de São Miguel de 73 águas analisadas.

O valor médio do teor de sódio nas amostras analisadas nos três Sistemas Aquíferos permite logo constatar que a concentração daquele catião nos pontos de água mineral nestes três Sistemas é muito diferente. Assim, os pontos de água mineral do Sistema Aquífero Sete Cidades, onde foram analisadas 6 amostras, apresentam o teor em sódio mais elevado, com uma média de 4202,8 mg/L, um máximo de 6676,7 mg/L e um mínimo de 1000,0 mg/L. Por seu turno, as 23 amostras analisadas do Sistema Aquífero Água de Pau apresentam o mais baixo teor em sódio, com uma média de 59,4 mg/L, um valor máximo de 349,0 mg/L e um mínimo de 20,5 mg/L, não sendo por isso de estranhar que as 73 amostras analisadas na ilha de São Miguel apresentem uma média significativa em sódio (467,3 mg/L) e uma elevada dispersão de valores (desvio padrão igual 1282,7 mg/L); 36 amostras têm teor de sódio inferior à mediana (80,0 mg/L) e 36 superior 80,0 mg/L,

e entre estas últimas encontram-se todas as águas pertencentes ao Sistema Aquífero Sete Cidades.

Relativamente ao potássio foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 amostras no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 amostras no Sistema Aquífero Sete Cidades, o que perfaz 72 amostras para a ilha de São Miguel. O valor da média do teor de potássio das amostras dos três Sistemas Aquíferos é, respectivamente, igual a 27,2 mg/L, 18,0 mg/L e 315,2 mg/L, no Furnas-Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, o que evidencia que a média no Sistema Aquífero Sete Cidades é não só elevada, como muito distinta da observada nos restantes. No Sistema Aquífero Água de Pau apresenta o menor valor médio (18,0 mg/L) e o valor observado mínimo mais reduzido (1,9 mg/L) entre as 72 amostras analisadas na ilha de São Miguel. 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 dos três Sistemas Aquíferos segue o mesmo padrão do catião sódio. Observa-se, considerando a totalidade dos resultados uma grande dispersão de valores, com um desvio padrão igual a 86,4 mg/L, quase duas vezes mais que a média (44,3 mg/L).

Quanto ao cálcio foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 no Sistema Aquífero Sete Cidades, o que perfaz 73 amostras na ilha de São Miguel. A comparação observação dos valores médios permite verificar que é no Sistema Aquífero onde se encontra o maior teor em cálcio (335,9 mg/L) e é no Sistema Aquífero Furnas-Povoação onde este valor é mais reduzido (média de 22,0 mg/L). O Sistema Aquífero Água de Pau tem um valor de média

intermédio (28,8 mg/L), com um máximo de 470,0 mg/L, um mínimo de 2,5 mg/L, uma mediana de 8,2 mg/L e um desvio padrão de 96,3 mg/L, a de o que configura grande dispersão de valores, a de maior amplitude entre os três Sistemas Aquíferos. Na ilha de São Miguel a média do teor em cálcio é 49,9 mg/L, apresentando um máximo de 508,3 mg/L, observado no Sistema Aquífero Sete Cidades e um mínimo de 1,2 mg/L no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. Constata-se, ainda, que 36 amostras têm teor de cálcio inferior a 11,2 mg/L (mediana) e 36 amostras superior a este valor.

Relativamente ao magnésio foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 no Sistema Aquífero Sete Cidades o que totaliza 73 amostras na ilha de São Miguel. É no Sistema Aquífero Sete Cidades onde se encontra o maior teor de magnésio, muito superior ao existente nos outros dois Sistemas Aquíferos, com uma média de 541,5, mg/L, um máximo de 956,0 mg/L e um mínimo de 221,0 mg/L. O Sistema Aquífero Água de Pau apresenta o menor teor de magnésio, com uma média de 6,6 mg/L, um máximo de 38,0 mg/L e um mínimo de 1,9 mg/L, mas é no Sistema Aquífero Furnas-Povoação onde se encontra o mínimo valor em teor de magnésio para ilha de São Miguel, 0,04 mg/L, embora a média, 9,6 mg/L seja superior à anterior. Na ilha de São Miguel a média do teor de magnésio é 52,4 mg/L, o máximo de 956,0 mg/L e o mínimo de 0,04 mg/L. 36 amostras têm teor em magnésio inferior a 5,5 mg/L (mediana) e outras 36 amostras superior a este valor. A média de teor de magnésio, ligeiramente superior à de cálcio segue o mesmo padrão de distribuição nos três Sistemas Aquíferos, o que não é de estranhar uma vez que são ambos metais alcalino-terrosos O valor do desvio padrão (160,7 mg/L), relativo às 73 amostras analisadas

na ilha de São Miguel, superior ao triplo da média (52,4 mg/L) traduz uma grande dispersão de valores.

Elementos Maiores Catiões	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média (mg/L)	D. Padrão (mg/L)	Máximo (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Mediana (mg/L)
Sódio	Furnas -Povoação	44	171,1	135,9	549,0	22,9	121,5
	Água de Pau	23	59,4	66,1	349,0	20,5	45,0
	Sete Cidades	6	4202,8	2287,3	6676,7	1000,0	4785,0
	Ilha de São Miguel	73	467,3	1282,7	6676,7	20,5	80,0
Potássio	Furnas -Povoação	44	27,2	14,9	89,0	4,6	22,0
	Água de Pau	23	18,0	12,9	48,0	1,9	15,0
	Sete Cidades	5	315,2	174,4	568,0	107,0	339,0
	Ilha de São Miguel	72	44,3	86,4	568,0	1,9	21,5
Cálcio	Furnas -Povoação	44	22,0	18,7	77,0	1,2	13,5
	Água de Pau	23	28,8	96,3	470,0	2,5	8,2
	Sete Cidades	6	335,9	145,1	508,3	140,0	313,5
	Ilha de São Miguel	73	49,9	109,3	508,3	1,2	11,1
Magnésio	Furnas -Povoação	44	9,6	8,9	37,0	0,0	5,5
	Água de Pau	23	6,6	7,6	38,0	1,9	4,2
	Sete Cidades	6	541,5	241,4	956,0	221,0	525,0
	Ilha de São Miguel	73	52,4	160,7	956,0	0,0	5,5

Tabela 6.2 – Elementos maiores: catiões (sódio; potássio; cálcio; magnésio) (mg/L)

6.3. ELEMENTOS MAIORES: ANIÕES

Os aniões, considerados neste estudo foram o sulfato (SO_4^{2-}), o Cloreto (Cl^-), o bicarbonato (HCO_3^-), e os resultados analíticos obtidos sofreram um tratamento estatístico com indicação para cada uma destas espécies, do número de amostras, da média, do desvio padrão, dos valores máximo e mínimo, por Sistema Aquífero e para o universo global da ilha de São Miguel (tabela 6.3).

Neste contexto para o ião sulfato foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 no Sistema Aquífero Sete Cidades o que perfaz 73 amostras para a ilha de São Miguel. A média de valores encontrados indica que é no Sistema Aquífero Sete Cidades onde se encontram, genericamente, os pontos de água mineral de tendência mais sulfatada, (média de 1084,5 mg/L), o que contrasta com o valor médio de 51,4 mg/L e de 170,1 mg/L respectivamente nos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau. Contudo, é no Sistema Aquífero Água de Pau que se observa valor máximo na ilha de São Miguel, para este anião (2000,0 mg/L). Por outro lado, é no Sistema Aquífero Furnas-Povoação onde se encontra o valor mínimo de SO_4^{2-} , nas águas minerais de São Miguel (2,1 mg/L). O valor médio é igual a 173,7 mg/L, com um desvio padrão de 418,2 mg/L, o que configura grande dispersão de valores, sendo que 36 amostras apresentam valores inferiores à mediana (18,0 mg/L) e outras 36 amostras valores superiores a esta medida.

Relativamente ao anião cloreto (Cl^-) foram analisadas 45 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação (média igual a 70,0 mg/L), 23 amostras no Sistema Aquífero

Água de Pau (média 216,8 mg/L) e 6 amostras no Sistema Aquífero Sete Cidades (média 7983,8 mg/L), indicando que é neste aquífero onde se observam as águas mais cloretadas na ilha de São Miguel, onde no total foram analisadas 74 amostras (média global de 757,3 mg/L). O valor máximo na ilha de São Miguel (11296,9 mg/L) é observado no Sistema Aquífero Sete Cidades e o mínimo (16,3 mg/L) é observado no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, que apresenta genericamente pontos de águas minerais com tendência cloretada menos pronunciada.

Quanto ao íão bicarbonato foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 20 amostras no Sistema Aquífero Água de Pau e 6 no Sistema Aquífero Sete Cidades, o que perfaz um total de 70 amostras para a ilha de São Miguel. O Sistema Aquífero Furnas-Povoação apresenta um valor médio de 448,2 mg/L, um máximo de 1161,4 mg/L e um mínimo de 12,8, que coincidem com os extremos observados na ilha de S. Miguel. O Sistema Aquífero Água de Pau apresenta o menor valor médio (137,5 mg/L). O Sistema Aquífero Sete Cidades apresenta o maior valor médio (594,9 mg/L), um máximo de 617,0 mg/L, um mínimo de 553,9 mg/L, um desvio padrão de 22,9 mg/L e uma mediana igual a 602,3 mg/L, o que configura que as 6 amostras analisadas apresentam uma certa uniformidade no que diz respeito ao teor de bicarbonato. Para a ilha de São Miguel, o valor médio é 372,0 mg/L, sendo que 35 amostras apresentam valor inferior à mediana (266,3 mg/L) e outras 35 amostras valor superior aquela medida estatística.

Elementos Maiores Aniões	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média (mg/L)	D. Padrão (mg/L)	Máximo (mg/L)	Mínimo (mg/L)	Mediana (mg/L)
Sulfato	Furnas -Povoação	44	51,4	118,5	733,0	2,1	16,0
	Água de Pau	23	170,1	483,9	2000,0	3,4	13,0
	Sete Cidades	6	1084,4	490,4	1814,0	352,0	1119,0
	Ilha de São Miguel	73	173,7	418,2	2000,0	2,1	18,0
Cloreto	Furnas -Povoação	45	70,0	66,1	303,9	16,3	57,2
	Água de Pau	23	216,8	756,6	3660,0	17,8	32,0
	Sete Cidades	6	7983,8	3351,6	11296,9	4009,4	8977,5
	Ilha de São Miguel	74	757,3	2370,7	11296,9	16,3	47,6
Bicarbonato	Furnas -Povoação	44	448,2	349,9	1161,4	12,8	356,9
	Água de Pau	20	137,5	126,4	371,0	18,3	88,1
	Sete Cidades	6	594,9	22,9	617,0	553,9	602,3
	Ilha de São Miguel	70	372,0	323,6	1161,4	12,8	266,3

Tabela 6.3 – Elementos maiores: aniões (sulfato; cloreto; bicarbonato) (mg/L).

6.4. OUTROS CONSTITUINTES

6.4.1. Elementos Menores e em Traço

Neste ponto, destacamos os elementos menores e em traço cuja concentração é expressa em $\mu\text{g/L}$.

Os elementos menores e em traço estudados, em número de quinze, 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 sistema aquífero e para a ilha de São Miguel (Tabela 6.4).

Entre eles destacamos, pela sua importância, quer nos estudos vulcanológicos, quer na balneoterapia, o boro (B), o alumínio (AL), o ferro (Fe), o lítio (Li), o manganês (Mn), o estrôncio (Sr), o chumbo (Pb), o zinco (Zn), o arsénio (As) e o bromo (Br).

Relativamente ao boro (B) foram analisadas 41 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 22 no Sistema Aquífero Água de Pau e 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades, num total de 68 amostras para a ilha de São Miguel. É o Sistema Aquífero Sete Cidades que apresenta o valor de média mais elevado ($4200 \mu\text{g/L}$), embora os teores máximo e mínimo se encontrem respectivamente no Sistema Aquífero Furnas-Povoação ($18400 \mu\text{g/L}$) e no Sistema Aquífero Água de Pau ($11 \mu\text{g/L}$). O valor médio das 68 amostras analisadas na ilha de S. Miguel é igual a $1427,4 \mu\text{g/L}$, sendo que 34 amostras apresentam valores inferiores a $106,5 \mu\text{g/L}$ e 34 apresentam valores superiores a $106,5 \mu\text{g/L}$ que

corresponde à mediana. Observa-se, considerando a totalidade dos resultados uma grande dispersão de valores, com um desvio padrão igual a 3655 µg/L.

Quanto ao alumínio (Al) foram analisadas 43 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 22 no Sistema Aquífero Água de Pau e 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades, num total de 70 amostras para a ilha de São Miguel. O valor médio mais elevado, o máximo e o maior desvio padrão na ilha de São Miguel foram observados no Sistema Aquífero Água de Pau, respectivamente iguais a 3683,5 µg/L, 36600 µg/L e 10604,6 µg/L, enquanto o valor mínimo encontra-se no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. Este último sistema apresenta um valor médio igual a 346,1 µg/L, superior à média no Sistema Aquífero das Sete Cidades (248 µg/L). O valor do desvio padrão (6099,6 µg/L), relativo às 70 amostras analisadas na ilha de São Miguel, é superior ao quádruplo da média (1338 µg/L) traduzindo uma grande dispersão de valores. O valor médio das 70 amostras analisadas na ilha de São Miguel é igual a 1388 µg/L, sendo que 35 amostras apresentam valores inferiores a 151,5 µg/L e 35 apresentam valores superiores a 151,5 µg/L, que corresponde à mediana.

Relativamente ao elemento ferro (Fe) foram analisadas 44 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 23 no Sistema Aquífero Água de Pau, 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades, no total de 72 amostras na ilha de São Miguel. Os Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau apresentam valores médios relativamente elevados, 2873 µg/L e 2206,1 µg/L respectivamente, sendo que se observa no segundo uma grande diversidade do teor de ferro nos pontos de água mineral visto que o máximo e o mínimo valor para a ilha de São Miguel respectivamente iguais a 23000 µg/L e 0 µg/L pertencem a

este sistema aquífero. O valor médio das 72 amostras analisadas na ilha de S. Miguel é igual a 2506,4 µg/L, sendo que 36 amostras apresentam valores inferiores a 410 µg/L e 36 apresentam valores superiores a 410 µg/L, que corresponde à mediana. O valor do desvio padrão (4291 µg/L), relativo às 72 amostras analisadas na ilha de São Miguel, é aproximadamente o dobro da média (2506,4 µg/L) traduzindo uma grande dispersão de valores.

Em relação ao elemento lítio (Li) foram analisadas 69 amostras na ilha de São Miguel, 42 no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 22 no Sistema Aquífero Água de Pau e 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades. É neste último que se encontram os valores mais elevados comparativamente aos restantes sistemas de aquíferos para a média e máximo observados na ilha de S. Miguel, respectivamente iguais a 740 µg/L e 1300 µg/L. O menor valor mínimo, 2 µg/L, encontra-se quer no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, quer no Sistema Aquífero Água de Pau. O desvio-padrão, relativo às 69 amostras recolhidas na ilha de São Miguel é de 217,5 µg/L. O valor da mediana para as 69 recolhidas é de 35 µg/L.

Quanto ao manganês (Mn) analisaram-se 43 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 22 no Sistema Aquífero Água de Pau e 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades, que totalizam 70 amostras para a ilha de São Miguel. O valor médio mais elevado (1790 µg/L) pertence ao Sistema Aquífero Sete Cidades, mas os valores máximo (3975 µg/L) e mínimo (0,9 µg/L) são observados no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, que apresenta entre os três sistemas o valor médio mais baixo (685,5 µg/L). O valor médio de manganês verificado na ilha de São Miguel é de 847,4 µg/L. O desvio-padrão e a mediana relativos às

70 amostras recolhidas na ilha de São Miguel são respectivamente de, 987,4 µg/L e 607 µg/L.

O estrôncio (Sr), foi analisado em 37 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 21 no Sistema Aquífero Água de Pau e 3 no Sistema Aquífero Sete Cidades, o que totaliza 61 amostras para a ilha de S. Miguel. É no Sistema Aquífero Sete Cidades onde se observa o maior valor médio (6256,7 µg/L) na ilha de São Miguel, com uma ordem de grandeza duas vezes maior que as médias estimadas para os Sistemas Aquíferos de Furnas-Povoação (50,5 µg/L) e Água de Pau (48,5 µg/L). Uma das amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades corresponde ao valor máximo da ilha de S. Miguel (12300 µg/L). O estrôncio, metal alcalino-terroso, acompanha, ainda como elemento menor, os elevados teores em cálcio e magnésio existentes nos pontos de água mineral analisados no Sistema Aquífero Sete Cidades (e que são os mais elevados de toda a ilha de São Miguel). O valor médio, o desvio-padrão e a mediana são, respectivamente de, 355 µg/L, 1667,9 µg/L e 32,7µg/L, para as 61 amostras analisadas na ilha de São Miguel.

O chumbo (Pb) foi analisado em 40 amostras do Sistema Aquífero Furnas-Povoação. (média de 0,6 µg/L), 22 amostras do Sistema Aquífero Água de Pau (média 1,0 µg/L) e 5 amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades (média de 10,6 µg/L). O valor médio, o desvio-padrão e a mediana são, respectivamente, 1,5 µg/L, 3,4 µg/L e 0,3 µg/L, para as 67 amostras analisadas na ilha de São Miguel.

Relativamente ao zinco (Zn) foram analisadas 41 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação (média 21,9 µg/L), 21 amostras no Sistema Aquífero Água de Pau

(média 67,1 µg/L) e 5 amostras no Sistema Aquífero Sete Cidades (média 236 µg/L), a maior entre aquelas três unidades hidrogeológicas. No total foram analisadas 67 amostras, com máximo igual a 570 µg/L e o mínimo de 1,5 µg/L, observados respectivamente nos Sistemas Aquíferos Sete Cidades e Furnas-Povoação. O valor médio, o desvio-padrão e a mediana são, respectivamente, 52,1 µg/L, 91,6 µg/L e 22,4 µg/L, para as 67 amostras analisadas na ilha de São Miguel.

Em relação ao elemento arsénio (As) foram analisadas 64 amostras na ilha de São Miguel, 38 das quais no Sistema Aquífero Furnas-Povoação (média de 22,5 µg/L), 21 no Sistema Aquífero Água de Pau, (média de 10,5 µg/L) e 5 no Sistema Aquífero Sete Cidades (média de 22,9 µg/L), a mais elevada entre os três sistemas de aquíferos. O valor mínimo mais baixo (0,1 µg/L), encontra-se nos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau. O valor máximo mais elevado (268 µg/L) encontra-se no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. O valor médio, o desvio-padrão e a mediana são, respectivamente, 22,9 µg/L, 52 µg/L e 2,2 µg/L, para as 64 amostras analisadas na ilha de São Miguel.

Quanto ao elemento bromo (Br), sob a forma de ião brometo (Br⁻), foram analisadas 41 amostras no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, 21 amostras no Sistema Aquífero Água de Pau e 3 amostras no Sistema Aquífero Sete Cidades. Os valores médios obtidos foram iguais a 225,2 µg/L, 165,5 µg/L e 19411,7 µg/L pela ordem estabelecida na tabela, pertencendo o máximo valor observado na ilha de São Miguel (57900 µg/L) ao Sistema Aquífero Sete Cidades e o valor mínimo (37 µg/L) ao Sistema Aquífero Água de Pau. O valor médio, o desvio-padrão e a mediana são, respectivamente, 1091,5 µg/L, 7160,3 µg/L e 116 µg/L, para as 65 amostras analisadas na ilha de São Miguel. O brometo, anião

halogénio, embora elemento menor, apresenta um elevado teor (19411,7 µg/L) tal como o ião cloreto, nos pontos de água mineral do Sistema Aquífero Sete Cidades relativamente aos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau.

No que diz respeito aos elementos crómio (Cr) e mercúrio (Hg) não é possível efectuar qualquer tipo de extrapolação válida, pois no primeiro caso só foram analisadas 7 amostras, e no segundo caso nem se quer foi efectuada qualquer análise com carácter objectivo.

6.4.2. Sílica (SiO₂)

No Sistema Aquífero Furnas-Povoação foram analisadas 43 amostras que apresentam uma média de 166,1 mg/L, um desvio padrão de 78,2 mg/L, um máximo de 374,5 mg/L, um mínimo de 42,0 mg/L e um valor de mediana de 159,0 mg/L. No Sistema Aquífero Água de Pau foram analisadas 24 amostras que apresentam uma média de 129,1 mg/L, um desvio padrão de 72,4 mg/L, um máximo de 351,0 mg/L, um mínimo de 51,6 mg/L e uma mediana de 122,4 mg/L. No Sistema Aquífero Sete Cidades foram analisadas 5 amostras, com uma média de 96,2 mg/L, um desvio padrão de 89,0 mg/L, um máximo de 192,6 mg/L, um mínimo de 1,3 mg/L e uma mediana de 135,0 mg/L. Uma primeira análise baseada nos valores da média permite avançar que os teores em sílica nas amostras dos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau são semelhantes, embora ligeiramente mais elevada no primeiro destes dois sistemas aquíferos.

Os pontos de água mineral do Sistema Aquífero Sete Cidades apresentam o valor máximo em sílica mais reduzido comparativamente às restantes unidades hidrogeológicas e menor dispersão de valores, uma vez que apresenta o menor desvio padrão.

Considerando o conjunto das 73 amostras recolhidas na ilha de São Miguel estimou-se uma média de 151,8 mg/L, um desvio padrão de 74,9 mg/L, um máximo de 374,4 mg/L e um mínimo de 42,0 mg/l, ambos observados no Sistema Aquífero Furnas-Povoação e um valor de mediana igual a 135,0 mg/l.

Elementos Menores	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média (µg/L)	D. Padrão (µg/L)	Máximo (µg/L)	Mínimo (µg/L)	Mediana (µg/L)
Boro	Furnas -Povoação	41	1833,2	4451,9	18400,0	18,0	223,0
	Água de Pau	22	41,0	54,2	246,0	11,0	26,5
	Sete Cidades	5	4200,0	1919,6	6800,0	1700,0	4600,0
	Ilha de São Miguel	68	1427,4	3655,0	18400,0	11,0	106,5
Alumínio	Furnas - Povoação	43	346,1	930,1	6029,0	8,0	90,0
	Água de Pau	22	3683,5	10604,6	36600,0	10,0	313,5
	Sete Cidades	5	248,0	155,5	400,0	32,0	208,0
	Ilha de São Miguel	70	1388,0	6099,6	36600,0	8,0	151,5
Ferro	Furnas -Povoação	44	2873,0	4043,9	17452,0	20,0	945,0
	Água de Pau	23	2206,1	5119,7	23000,0	0,0	70,0
	Sete Cidades	5	662,0	788,8	1900,0	70,0	230,0
	Ilha de São Miguel	72	2506,4	4291,0	23000,0	0,0	410,0
Lítio	Furnas -Povoação	42	111,7	108,4	368,0	2,0	68,0
	Água de Pau	22	16,8	15,6	55,0	2,0	11,5
	Sete Cidades	5	740,0	378,4	1300,0	300,0	780,0
	Ilha de São Miguel	69	127,0	217,5	1300,0	2,0	35,0

Elementos Menores	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média (µg/L)	D. Padrão (µg/L)	Máximo (µg/L)	Mínimo (µg/L)	Mediana (µg/L)
Manganês	Furnas -Povoação	43	685,5	736,4	3975,0	0,9	629,0
	Água de Pau	22	949,5	1160,1	3790,0	2,5	465,0
	Sete Cidades	5	1790,0	1614,7	3400,0	50,0	2400,0
	Ilha de São Miguel	70	847,4	987,4	3975,0	0,9	607,0
Estrôncio	Furnas -Povoação	37	50,5	38,9	182,0	2,3	32,0
	Água de Pau	21	48,5	42,7	150,0	7,1	30,1
	Sete Cidades	3	6256,7	5335,0	12300,0	2200,0	4270,0
	Ilha de São Miguel	61	355,0	1667,9	12300,0	2,3	32,7
Chumbo	Furnas -Povoação	40	0,6	1,9	11,9	0,1	0,2
	Água de Pau	22	1,0	1,7	7,2	0,1	0,4
	Sete Cidades	5	10,6	5,4	17,0	4,0	10,0
	Ilha de São Miguel	67	1,5	3,4	17,0	0,1	0,3
Zinco	Furnas -Povoação	41	21,9	35,4	224,0	1,5	13,1
	Água de Pau	21	67,1	53,5	190,0	10,3	52,5
	Sete Cidades	5	236,0	242,5	570,0	50,0	80,0
	Ilha de São Miguel	67	52,1	91,6	570,0	1,5	22,4
Crómio	Furnas -Povoação	0	-	-	-	-	-
	Água de Pau	5	4,7	4,4	12,2	1,3	3,4
	Sete Cidades	2	2,7	0,5	3,0	2,3	2,7
	Ilha de São Miguel	7	4,1	3,8	12,2	1,3	3,0
Níquel	Furnas -Povoação	40	10,6	23,7	145,0	0,5	3,7
	Água de Pau	22	4,4	6,7	28,8	0,5	1,8
	Sete Cidades	5	75,4	94,9	240,0	12,0	40,0
	Ilha de São Miguel	67	13,4	34,9	240,0	0,5	3,1

Elementos Menores	Sistemas Aquíferos	Nº Amostras	Média (µg/L)	D. Padrão (µg/L)	Máximo (µg/L)	Mínimo (µg/L)	Mediana (µg/L)
Arsénio	Furnas -Povoação	38	22,5	46,7	268,0	0,1	4,2
	Água de Pau	21	10,5	44,1	203,0	0,1	0,3
	Sete Cidades	5	77,8	89,9	177,0	0,2	20,0
	Ilha de São Miguel	64	22,9	52,0	268,0	0,1	2,2
Mercúrio	Furnas -Povoação	0	-	-	-	-	-
	Água de Pau	0	-	-	-	-	-
	Sete Cidades	0	-	-	-	-	-
	Ilha de São Miguel	0	-	-	-	-	-
Cobre	Furnas -Povoação	37	9,8	29,3	181,0	0,2	4,1
	Água de Pau	21	3,4	4,6	15,6	0,2	1,1
	Sete Cidades	2	95,0	91,9	160,0	30,0	95,0
	Ilha de São Miguel	60	10,4	30,6	181,0	0,2	2,3
Cádmio	Furnas -Povoação	40	0,1	0,2	1,5	0,0	0,1
	Água de Pau	22	0,2	0,2	0,8	0,0	0,2
	Sete Cidades	4	0,5	0,6	1,3	0,0	0,4
	Ilha de São Miguel	66	0,2	0,3	1,5	0,0	0,1
Bromo	Furnas -Povoação	41	225,2	193,1	804,0	47,0	185,0
	Água de Pau	21	165,5	321,5	1550,0	37,0	73,0
	Sete Cidades	3	19411,7	33331,9	57900,0	97,0	238,0
	Ilha de São Miguel	65	1091,5	7160,3	57900,0	37,0	116,0

Tabela 6.4 – Elementos menores e em traço (boro; alumínio; ferro; lítio; manganês; estrôncio; chumbo; zinco; crómio; níquel; arsénio; mercúrio; cobre; cádmio e bromo) (µg/L).

6.5. FÁCIES HIDROGEOQUÍMICA

Pode designar-se por fácies hidrogeoquímica a expressão da composição química da água em termos das espécies dominantes em solução. Através da utilização de gráficos e diagramas pode-se de uma forma simplificada, inferir da fácies de uma água a partir da sua análise química. Para esse efeito, existem gráficos e diagramas que são 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). Na presente dissertação recorreu-se a dois tipos de gráficos amplamente utilizados na literatura académica, nomeadamente os diagramas de Piper e de Schoeller.

O diagrama de Piper é a representação gráfica do resultado de análises químicas, constituído por dois triângulos, cujos vértices representam, em percentagem, os catiões e aniões principais (Custódio & Llamas, 1983) e um losângulo. O diagrama de Piper permite projectar um número elevado de pontos, reflectindo facilmente processos modificadores da composição da água, como precipitações, dissoluções e misturas de águas. Assim, esta representação é 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 constituído por várias semi-rectas verticais igualmente espaçadas, com escalas logarítmicas, onde se encontram concentrações absolutas em meq/L. Todas estas semi-rectas apresentam iguais potências de 10 na mesma linha horizontal. A cada semi-recta esta associado um catião ou anião, cuja referência, 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 permite aferir 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 (Cruz, 2004).

6.5.1. Sistema Aquífero Furnas-Povoação

As fácies hidrogeoquímicas predominantes no Sistema Aquífero Furnas-Povoação correspondem predominantemente a águas bicarbonatadas sódicas, embora se encontrem amostras cuja classificação se pode considerar intermédia: no que concerne ao triângulo dos catiões águas dos tipos sódica cálcica e sódica magnésiana e sulfatada no que respeita ao triângulo dos aniões sulfatadas (Anexo VI).

O diagrama de Schoeller põe em evidência a homogeneidade composicional, revelando que as amostras são semelhantes quimicamente, podendo observar-se uma amostra cuja concentração em ião SO_4^{2-} é superior a 10 meq/L (Anexo VI).

6.5.2. Sistema Aquífero Água de Pau

As fácies hidrogeoquímicas predominantes no Sistema Aquífero Água de Pau são a bicarbonatada sódica e a cloretada sódica (Anexo VI).

O diagrama de Scholler mostra uma homogeneidade menor do que no Sistema Aquífero Furnas-Povoação, podendo observar-se como excepção duas amostras com concentração em ião SO_4^{2-} superior a 10 meq/L (Anexo VI).

6.5.3. Sistema Aquífero Sete Cidades

A fácies hidrogeoquímica que predomina no Sistema Aquífero Sete Cidades é a cloretada sódica, o que está de acordo com o facto de se tratar de pontos de água mineral que emergem do aquífero de base, junto ao mar sujeitos à mistura de sais marinhos (Anexo VI).

O diagrama de Scholler evidencia uma grande homogeneidade na composição química e uma mineralização apreciável (Anexo VI).

6.5.4. Ilha de São Miguel

As fácies hidrogeoquímicas na ilha de São Miguel correspondem a águas dos tipos bicarbonatada sódica e cloretada sódica, observando-se no entanto algumas amostras cuja classificação é intermédia, quer dos tipos cloretada bicarbonatada e bicarbonatada cloretada no que respeita ao triângulo dos aniões, e dos tipos sódica magnesiana e sódica cálcica no que concerne ao triângulo dos catiões (Anexo VI).

O diagrama de Scholler evidencia, uma grande homogeneidade na composição química das águas minerais, situadas em cada um dos Sistemas Aquíferos analisados, e

uma tendência marcada pelo aumento da mineralização do Sistema Aquífero Água de Pau para o Sistema Aquífero Furnas-Povoação, e deste último para o Sistema Aquífero Sete Cidades (Anexo VI).

6.6. ÍNDICES DE SATURAÇÃO

A avaliação do estado de equilíbrio da água relativamente a um dado cortejo mineralógico é essencial para compreender a composição química da mesma e, para tal, é necessário recorrer a medidas como os índices de saturação (IS) relativos às diferentes espécies minerais.

O índice de saturação (IS) de qualquer espécie mineral (fase sólida) é definido pela relação entre o quociente de reacção (Q) e a sua respectiva constante de equilíbrio (K_s). 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 em computadores, o HIDSPEC calcula os índices de saturação em função dos logaritmos das actividades (Carvalho, 1989).

Assim, considera-se que uma água está sobre-saturada relativamente a um qualquer espécie mineral se o logaritmo do índice de saturação é positivo, e a tendência é para a precipitação desta. Se 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 os estados de equilíbrio das águas minerais da ilha de São Miguel relativamente à sílica, aos principais minerais carbonatados e a alguns silicatos.

Os resultados foram obtidos através do programa de especiação HIDSPEC, tendo sido calculado o Log IS para 15 espécies minerais (Carvalho, 1989) (Anexo VII e VIII).

No que diz respeito aos minerais de sílica verifica-se que as águas minerais da ilha de São Miguel estão sobre-saturadas em calcedónia, cristobalite e quartzo. Relativamente à sílica gel constata-se que a maioria das águas minerais também estão sobre-saturadas nesta espécie mineral, com excepção das amostras AM3, AM13, AM39, AM46, AM59 e AM62. Das seis amostras referenciadas anteriormente as primeiras quatro pertencem ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação, enquanto as duas últimas situam-se no Sistema Aquífero Água de Pau.

Relativamente aos principais minerais carbonatados, calcite e dolomite, observa-se, no geral, que as águas minerais de São Miguel são subsaturadas nestas espécies de minerais. No entanto, as águas sobre-saturadas em relação à calcite correspondem às amostras cuja referência é a seguinte: AM12, AM36, AM42, AM64 e AM66. As três primeiras amostras referenciadas em cima situam-se no Sistema Aquífero Furnas-Povoação e as duas últimas encontram-se no Sistema Aquífero Água de Pau.

Quanto à dolomite existem seis águas minerais, também sobre-saturadas com as seguintes referências: AM36, AM42, AM63, AM66, AM73 e AM74. As amostras AM36 e AM42 são águas minerais situadas no Sistema Aquífero Furnas-Povoação; as amostras AM63 e AM66 correspondem a pontos de água mineral pertencentes ao Sistema Aquífero Água de Pau. Por fim, as amostras AM73 e AM74 encontram-se englobadas no Sistema Aquífero Sete Cidades.

No que concerne aos silicatos estudou-se o índice de saturação das águas minerais da ilha de São Miguel em relação a: plagioclases – anortite e albite; feldspato potássico – microclina; piroxenas – clinoesntatite e diópsido; minerais de argila – montmorilonite-Ca, montmorilonite-K, caulinite e illite.

A projecção do logaritmo dos índices de saturação das plagioclases versus o pH revela que o comportamento geral relativamente à anortite e à albite é contrastante, pois as águas minerais estão na generalidade, subsaturadas na plagioclase cálcica e sobre-saturadas na plagioclase sódica. No entanto há excepções: as amostras AM44 (Sistema Aquífero Furnas-Povoação), AM75 e AM76 (Sistema Aquífero Sete Cidades) encontram-se sobre-saturadas em anortite, e as amostras AM27, AM46, AM48, AM50, AM53, AM62 e AM69 manifestam-se subsaturadas em albite. Em ambos os casos verifica-se uma relação linear positiva entre aquelas duas variáveis referidas anteriormente (Log IS e pH).

Todas as amostras são sobre-saturadas em microclina, verificando-se que o Log IS quando projectado contra o pH dá indícios de uma relação linear positiva entre aquelas duas variáveis.

Relativamente às piroxenas, todas as amostras estão subsaturadas em clinoenstantite e em diópsido, com excepção das amostras AM36 (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) e AM64 e AM66 (Sistema Aquífero Água de Pau) no que toca a este último mineral. O gráfico que relaciona o Log IS com o pH sugere a existência de uma relação linear positiva.

No que diz respeito aos minerais de argila, Montmorilonite-Ca e Montmorilonite-K constata-se que as águas minerais da ilha de São Miguel são sobre-saturadas. Relativamente à caulinite e à illite verifica-se que as amostras, em geral, estão também sobre-saturadas, com excepção das águas minerais com as seguintes referências: AM9 e AM36 (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) para a caulinite; AM9, AM27, AM36, AM46 (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) e AM50 e AM62 (Sistema Aquífero Água de Pau), para a illite.

6.7. PROCESSOS HIDROGEOQUÍMICOS

Num sistema hidrogeológico natural, se as condições externas forem constantes e o tempo for prolongado, os processos químicos entre os corpos hídrico e rochoso evoluem no sentido de se atingir um ponto de equilíbrio (Mattess, 1982 *in* Azevedo, 1998). No entanto, a interposição de variados factores, intrínsecos aos próprios componentes do sistema, ou externos, impossibilitam o desenvolvimento completo das interacções hidrogeoquímicas e do estado de equilíbrio.

Do ponto de vista hidrogeológico, as consequências principais deste estado de desequilíbrio (ou equilíbrio dinâmico) situam-se na evolução mais ou menos rápida da composição química das águas subterrâneas, ao longo do seu trajecto no meio rochoso, e do desenvolvimento preferencial e generalizado do estado de subsaturação relativamente às diversas espécies minerais (Azevedo, 1998).

Obviamente que o ritmo a que esta evolução se processa depende fundamentalmente da velocidade, ou seja do tempo de residência médio, e do processo de circulação hídrica, da natureza, estado de alteração e heterogeneidades espaciais do meio rochoso, assim como, da superfície de contacto água-rocha (Azevedo, 1998).

A concentração das espécies em solução nas águas, assim como a respectiva molaridade, são controladas pelo equilíbrio químico estabelecido entre a água e as espécies sólidas das rochas constituintes dos aquíferos.

Na ilha de São Miguel, ocorrem numerosas nascentes de águas minerais, predominantemente frias gasocarbónicas e termais, que apresentam uma grande variedade de fácies hidrogeoquímica.

A relação entre a concentração dos iões Cl^- e Na^+ dos pontos de água mineral da ilha de São Miguel, distribuídos pelos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação, Água de Pau e Sete Cidades, está representado na figura 6.1. Da observação deste gráfico pode concluir-se que todas as amostras pertencentes aos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau, genericamente emergentes a partir de aquíferos de altitude, apresentam baixos teores de Cl^- e Na^+ , uma vez que estes estão representados junto da origem do gráfico.

No Sistema Aquífero Sete Cidades onde estão representadas seis amostras, respectivamente AM71, AM72, AM73, AM74, AM75 e AM76, observa-se uma relação linear entre as concentrações de Cl^- e Na^+ , o que evidencia claramente a mistura com sais marinhos. Este processo não é de estranhar, já que se trata de águas minerais emergentes de aquíferos de base, junto ao mar.

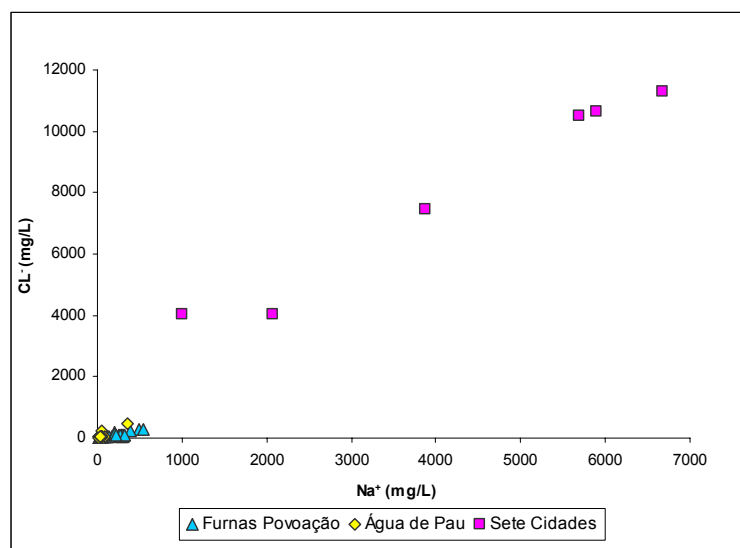


Fig. 6.1 – Relação entre as concentrações de sódio e do cloreto nas águas minerais da ilha de São Miguel.

O gráfico da figura 6.2, que relaciona a concentração do ião Cl⁻ com a condutividade eléctrica, mostra que todas as águas pertencentes aos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Sistema Aquífero Água de Pau, com excepção da amostra AM65 (furo FC2-Bel Portugal), apresentam valores reduzidos de ambas as variáveis projectadas.

As cinco amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades (AM71, AM73, AM74, AM75 e AM76) apresentam uma relação linear entre as duas variáveis representadas, evidenciando a mistura com sais marinhos, o que está de acordo com o facto de se tratar de águas minerais provenientes de aquíferos de base. A amostra AM65 apresenta um assinalável teor em ião Cl⁻ e uma condutividade elevada (10800 μ S/cm), por se tratar de uma água proveniente de um furo ao nível de um aquífero de base, com contaminação marinha.

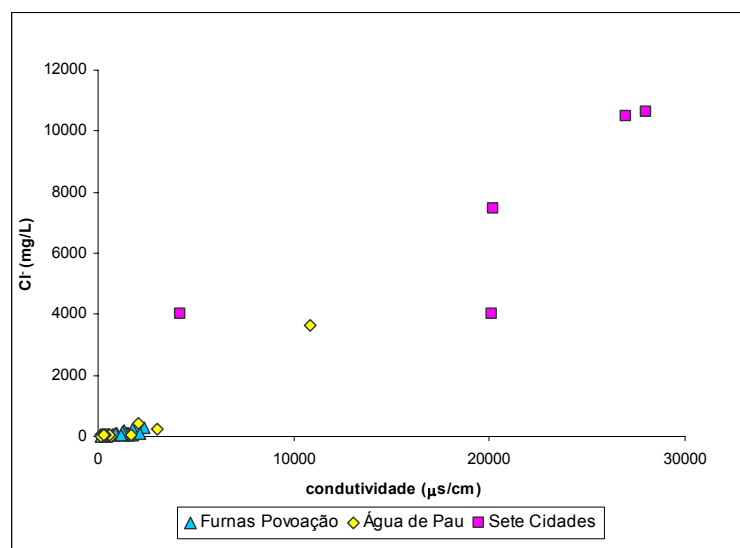


Fig. 6.2 – Relação entre a condutividade eléctrica e a concentração de cloreto nas águas minerais da ilha de São Miguel.

A sílica das águas minerais da ilha de São Miguel provém do ataque e dissolução pelas águas dos minerais silicatados pertencentes às rochas. O valor do pH é muito importante nesta reacção, controla a agressividade das águas e a sílica precipita quando o pH desce. O CO₂ livre joga um papel importante na solubilização da sílica devido à sua acção tampão (Custódio & Llamas, 1983).

A relação entre a concentração de SiO₂ e a temperatura dos pontos de água mineral de São Miguel, está representada na figura 6.3. Relativamente às amostras pertencentes ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação, todas emergentes de aquíferos de altitude, logo sem contaminação marinha, verifica-se que um aumento de temperatura se traduz por um aumento da concentração de SiO₂, sugerindo os efeitos dos processos da interacção água-rocha. O facto de, por vezes, não ser evidente uma relação linear bem marcada deve-se à influência de outros factores, nomeadamente ao pH das águas, e à

presença de CO_2 de origem vulcânica, bem como processos de mistura. Assim as amostras AM35, AM9 e AM10, fumarolas com temperaturas próximas dos 100°C , são as que apresentam maiores concentrações de sílica, devido ao facto de terem simultaneamente pH elevado (>7), sendo de notar que a amostra AM13 (Caldeira da Lagoa das Furnas), fumarola com temperatura semelhante à das primeiras apresenta menor concentração em SiO_2 , possivelmente devido ao facto do pH (5,76) ser inferior ao das amostras anteriores e/ou tempo de residência. No Sistema Aquífero Água de Pau encontram-se dois conjuntos de amostras. O primeiro, constituído pelas amostras AM51, AM52, AM64, AM65, AM66, AM67 e AM68, pertencentes ao aquífero de base, não evidencia uma relação linear entre a temperatura e a concentração de SiO_2 . O segundo conjunto, constituído pelas restantes amostras onde se destacam AM63, AM58, AM54, AM60, AM59 e AM63 mostra uma relação linear entre a temperatura e a concentração de SiO_2 , confirmando a influência da interacção água-rocha.

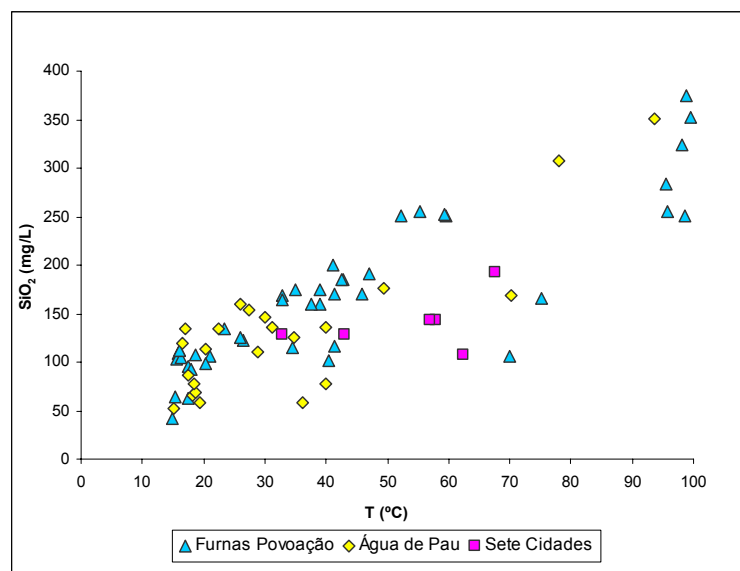


Fig. 6.3 – Relação entre a temperatura de emergência e a concentração em sílica nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Os efeitos do processo de mineralização das águas devido à interacção água-rocha estão patentes na projecção do teor de HCO_3^- contra a concentração de SiO_2 (figura 6.4). Nos Sistemas Aquíferos Furnas-Povoação e Água de Pau pode observar-se uma tendência geral do efeito da interacção água-rocha, uma vez que ao acréscimo da concentração de HCO_3^- , corresponde um acréscimo da concentração de SiO_2 .

No Sistema Aquífero das Furnas-Povoação aparecem, como excepções, as amostras representadas à direita na figura 6.4, para quais o aumento da concentração de HCO_3^- é acompanhado de um valor praticamente constante da concentração de SiO_2 , e de que se destacam as amostras AM15, AM17, AM16, AM18, AM22, AM23, AM19 e AM21. A elevada condutividade destas águas, respectivamente 1459 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1552 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1528 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1525 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1680 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 1759 $\mu\text{S}/\text{cm}$, põe em evidência um tempo de residência longo (circuito das águas minerais mais profundo) confirmada pelos teores de SiO_2 . No Sistema Aquífero de Água de Pau encontram-se igualmente excepções à tendência geral, de que são exemplos as amostras AM52, AM55, AM56 e AM57, que apresentam valores praticamente constantes do teor de sílica para um aumento da concentração de HCO_3^- . Todavia, os valores relativamente baixos da condutividade eléctrica, respectivamente 459 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 537 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 575 $\mu\text{S}/\text{cm}$, evidenciam um curto tempo de residência (o circuito das águas é superficial), que se traduz por uma menor interacção água-rocha, confirmada por teores mais baixos de SiO_2 , face às excepções analisadas para o Sistema Aquífero Furnas-Povoação. Há, no entanto, no Sistema Aquífero Água de Pau, um outro tipo de excepções à tendência geral de que são exemplos as amostras AM64 e AM65, para as quais a constância da concentração de SiO_2 , face ao aumento da concentração de HCO_3^- , se explica, atendendo à elevada

condutividade eléctrica, pela contaminação com sais marinhos. Nas amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades não se verifica qualquer relação entre a concentração de HCO_3^- , praticamente constante, e a concentração de SiO_2 . Trata-se de águas minerais pertencentes ao aquífero de base, cuja mineralização está fortemente influenciada pela mistura com sais marinhos, como o atestam as elevadíssimas condutividades eléctricas que as caracterizam.

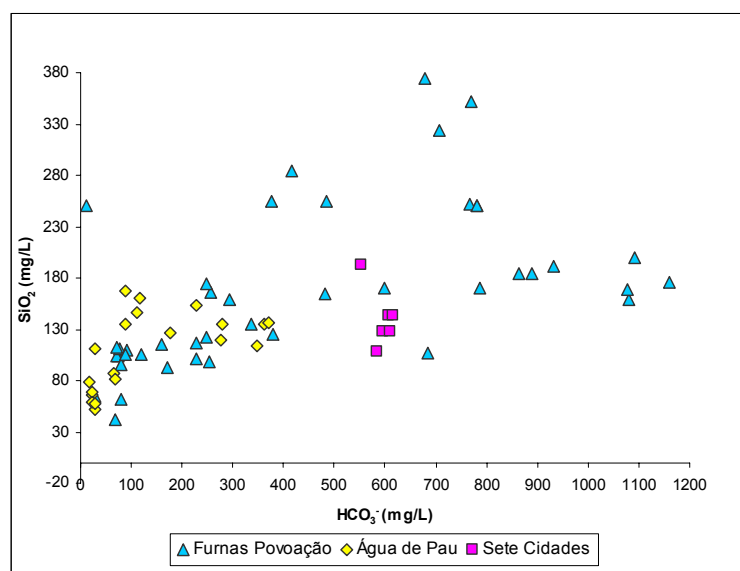


Fig. 6.4 – Relação entre as concentrações em bicarbonato e em sílica nas águas minerais da ilha de São Miguel.

A relação entre o teor em HCO_3^- e a condutividade eléctrica dos pontos de água mineral da ilha de São Miguel mostra duas tendências diversas (Fig.6.5). A primeira tendência traduz-se por uma relação linear bem marcada entre as variáveis projectadas, fruto da absorção de voláteis vulcânicos e da interacção água-rocha. Esta tendência é bem nítida para as amostras do Sistema Aquífero das Furnas-Povoação, bem como para a

grande maioria das amostras do Sistema de Água de Pau, para as quais um acréscimo da concentração de HCO_3^- é acompanhado por um aumento da condutividade. A segunda tendência, representada por todas as amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades, e pelas amostras AM64 e AM65 do Sistema Aquífero Água de Pau, caracteriza-se por um aumento de condutividade eléctrica independente da concentração de HCO_3^- . No caso das amostras AM73, AM74, AM75 e AM76 (Sistema Aquífero Sete Cidades) verifica-se que ao aumento de condutividade corresponde um valor praticamente constante da concentração de HCO_3^- , o que se explica pela mistura de sais marinhos. O pH é próximo de 6, significativamente inferior ao valor tipicamente observado na da água do mar, mostra que além do efeito da mistura com sais marinhos, há outros processos que influenciam a composição química. Com efeito, a concentração de HCO_3^- é superior à esperada atendendo unicamente à mistura com sais marinhos. As excepções à relação linear entre a condutividade e concentração de HCO_3^- do Sistema Aquífero Água de Pau, respectivamente as amostras AM64 e AM65, ambas correspondentes a furos deve-se igualmente à contaminação com sais marinhos, visto que estes captam no aquífero de base.

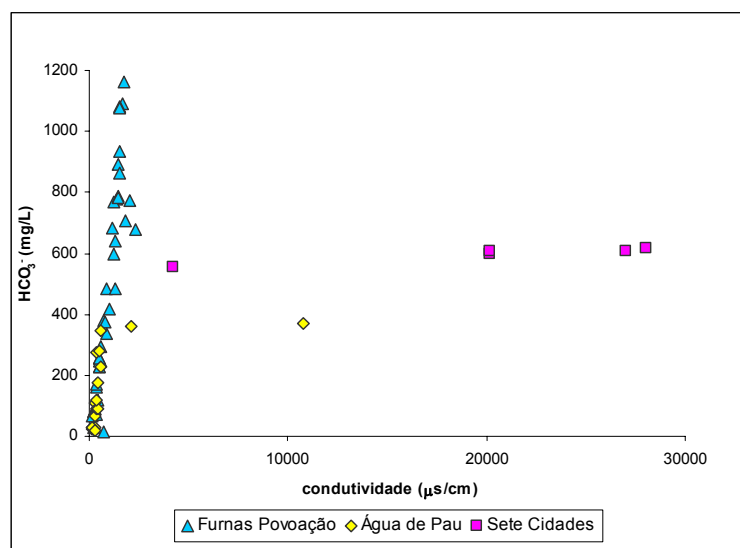


Fig. 6.5 – Relação entre a condutividade eléctrica e o teor em bicarbonato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

A relação entre a concentração do ião SO_4^{2-} e a condutividade eléctrica mostra a influência de processos de aquecimento por vapor, com oxidação de formas reduzidas de enxofre (S ou S^{2-}) a SO_4^{2-} , provocando a descida do valor de pH (figura 6.6). Trata-se das amostras AM60, AM63 e AM58, todas fumarolas de pH muito baixo, respectivamente igual a 2,2, 2,23 e 2,23, pertencentes ao Sistema Aquífero Água de Pau, para as quais existe uma relação linear entre a concentração de SO_4^{2-} e a condutividade. No Sistema Aquífero Furnas-Povoação destacam-se as amostras AM10, AM13 e AM40, com teor em SO_4^{2-} apreciável e para as quais se pode estabelecer sensivelmente uma relação linear entre este teor e condutividade. Todas estas amostras são fumarolas, verificando-se um aumento de concentração de SO_4^{2-} à medida que o pH diminui. A figura 6.6 mostra também não existir qualquer relação linear entre condutividade e o teor em SO_4^{2-} , para as amostras do Sistema Aquífero das Sete Cidades, indicando no caso uma origem do ião sulfato muito distinta das anteriores, relacionada com a contaminação marinha.

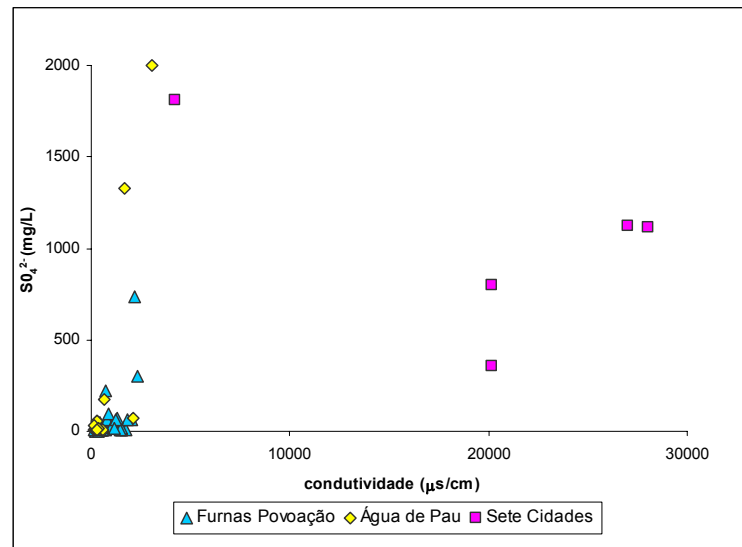


Fig. 6.6 – Relação entre a condutividade eléctrica e a concentração de sulfato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

A projecção das concentrações de SO_4^{2-} e de ião Cl^- põe em destaque a independência destas variáveis nas amostras de águas sulfatadas, quer do Sistema Aquífero Furnas-Povoação (AM13, AM10 e AM40), quer do Sistema Aquífero Água de Pau (AM60, AM63 e AM58), confirmando a influência de processos de aquecimento por vapor para o enriquecimento em SO_4^{2-} (Fig. 6.7) As amostras AM76, AM75, AM74, AM73 e AM72, todas do Sistema Aquífero Sete Cidades, apresentam uma relação linear entre a concentração de SO_4^{2-} e a concentração de Cl^- . Nesta amostra, observa-se que ao aumento progressivo da concentração do ião sulfato corresponde um acréscimo muito mais acentuado da concentração do ião cloreto, o que evidencia a influência da mistura com sais marinhos nestas águas.

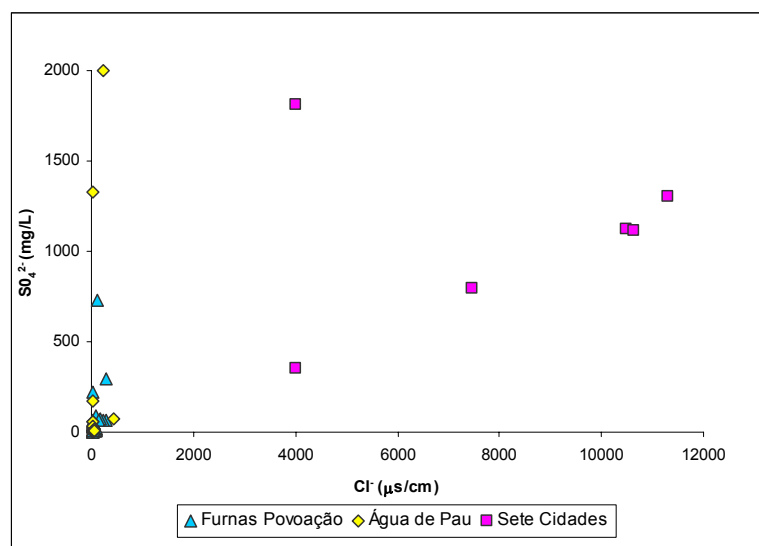


Fig. 6.7 – Relação entre as concentrações em cloreto e em sulfato nas águas minerais da ilha de São Miguel.

Os dados hidrogeoquímicos do inventário HYDROVULC relativos aos pontos de água mineral na ilha de São Miguel amostrados no biénio 2005/2006 possibilitou a interpretação dos principais processos hidrogeoquímicos modificadores da composição química das águas, os quais confirmam a subdivisão, em 4 grupos, proposta por Cruz e França (2006). Os grupos 1 e 2, emergentes a partir de aquíferos de altitude, englobam águas frias, termais e hipertermais, estas últimas relacionadas com fumarolas com pH básico; estas águas evoluem por interacção água-rocha, por absorção de voláteis vulcânicos, nomeadamente CO_2 , e por mistura de fluidos hidrotermais. Esta evolução explica as relações lineares existentes entre a temperatura e o teor de SiO_2 (Fig. 6.3), o teor de SiO_2 e o teor de HCO_3^- (Fig. 6.4) e a condutividade e o teor de HCO_3^- (Fig. 6.5). O terceiro grupo é constituído por águas de fumarolas, dominadas pelo ião SO_4^{2-} com um pH muito baixo, fruto do processo de aquecimento por vapor, as quais explicam as relações entre: a condutividade e o teor de SO_4^{2-} (Fig. 6.6) e entre os teores em Cl^- e SO_4^{2-} (Fig. 6.7).

O quarto grupo engloba águas frias e termais emergentes a partir de aquíferos de base de composição química modificada por misturas com sais marinhos, influência que é particularmente patente nas relações entre os teores em Na^+ e Cl^- (Fig. 6.1) e o teor em Cl^- e a condutividade eléctrica (Fig. 6.2) e pela independência entre as variáveis SiO_2 e HCO_3^- (Fig. 6.4) ou HCO_3^- e a condutividade eléctrica (Fig.6.5).

Deste modo, os principais processos modificadores da composição química da água são a mistura com sais marinhos, que implica a ocorrência de águas cloretadas sódicas, a absorção de voláteis de origem vulcânica, dominados pelo CO_2 , a interacção água-rocha e a mistura com fluidos hidrotermais, que explicam a tipologia bicarbonatada sódica e o aquecimento por vapor, traduzido pelas águas de fácies sulfatada.

6.8. MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA

Actualmente o CVARG monitoriza na ilha de São Miguel, quinzenalmente, treze pontos de água mineral, sendo sete pertencentes ao Sistema Aquífero Água de Pau e seis pertencentes ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação. As sete emergências monitorizadas no Sistema Aquífero de Água de Pau são as seguintes: Ladeira Velha, Caldeira Velha Fumarola, Caldeira Velha Nascente, Caldeira da Ribeira Grande Férrea, Lombadas, Lombadas Doce e Lombadas furo I. Os seis pontos de água mineral também sujeitos à monitorização no Sistema Aquífero Furnas-Povoação são: Água Azeda, Caldeira Grande, Caldeirão, Quenturas I, Torno e Caldeira da Lagoa das Furnas. Para todas as emergências referidas anteriormente, os parâmetros físico-químicos analisados são: a temperatura, o pH, a condutividade eléctrica, o CO₂ livre, a alcalinidade, o bicarbonato (se o valor de pH assim o permitir) e os aniões cloreto e sulfato.

A base de dados hidrogeoquímica HYDROVULC foi constituída com o objectivo de servir de elemento auxiliar na monitorização vulcanológica no arquipélago dos Açores, mostrando-se um instrumento bastante versátil, dado que permite analisar um ou vários pontos de águas minerais e/ou visualizar os parâmetros físico-químicos pré-definidos e seleccionados, isoladamente ou simultaneamente.

Assim com o intuito de validar a utilidade dos dados da base hidrogeoquímica HYDROVULC para aquele efeito, projectaram-se, sempre que possível, diversos gráficos relativos ao caudal, à temperatura, ao pH, à condutividade eléctrica, ao CO₂ livre, à alcalinidade, ao bicarbonato, ao sódio, ao cloreto, ao sulfato e à sílica contra o intervalo de

tempo compreendido entre 1900 (século XX) e 2006 (século XXI). Escolheram-se, ainda, diversas escalas e intervalos de valores, de modo a otimizar a leitura e interpretação de dados dos parâmetros físico-químicos referidos anteriormente, nos respectivos gráficos.

Neste contexto foram escolhidos sete pontos de água mineral, três situados no Sistema Aquífero Água de Pau (Fumarola da Ribeira Grande, Ladeira Velha e Lombadas) e quatro pertencentes ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação (Água Azeda, Caldeira Grande, Caldeira da Lagoa das Furnas e Torno).

Relativamente à Fumarola da Ribeira Grande (Sistema Aquífero Água de Pau) foram analisados os dados dos parâmetros, temperatura, pH, condutividade eléctrica, teores de sódio, cloreto e sulfato (Anexo IX).

Assim, no que diz respeito à temperatura, o universo de dados é de vinte e quatro observações, cujos valores estão compreendidos entre os 61°C e os 95° C.

O conjunto de dados para o pH, condutividade eléctrica e teores em sódio, cloreto e sulfato, é somente de três observações para cada parâmetro referido anteriormente, sendo insuficiente para concluir algo acerca da estabilidade dos mesmos e não permitindo estabelecer linhas de base para aqueles parâmetros; assim é necessário a recolha e validação de mais dados que conduzam à definição de intervalos de valores que balizem essas linhas. Contudo pode observar-se que os valores de pH, distribuídos entre 2,23 e 2,30 e os de teor em sódio, entre 44 mg/L e 50 mg/L, apresentam uma certa constância.

Para a condutividade eléctrica os dados situam-se no intervalo de valores entre 2270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 3060 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

O teor em cloreto apresenta valores que estão compreendidos entre 14,2 mg/L e 230,6 mg/L. Quanto ao teor em sulfato os valores encontram-se confinados entre 1022 mg/L e 2000 mg/L.

Por último, é de salientar o aumento abrupto dos teores em cloreto e sulfato na amostragem efectuada em Julho de 2005, face às anteriores. Estes valores anómalos em cloreto e sulfato podem estar relacionados com a crise sísmica Fogo-Congro que teve dois períodos de maior intensidade, um em Maio e outro em Setembro de 2005.

Para a nascente da Ladeira Velha (Sistema Aquífero Água de Pau) foram analisados os dados dos parâmetros, temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO_2 livre, alcalinidade, bicarbonato, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo X).

Relativamente à temperatura, o conjunto de dados é de oito, com valores compreendidos entre os 27,6°C e os 31° C, o que se afigura ser um comportamento estável, sugerindo que é viável determinar a respectiva linha de base para monitorização.

O conjunto de dados para o pH, condutividade eléctrica, alcalinidade e teores em bicarbonato e em cloreto, é também de oito observações. Os valores de pH estão distribuídos entre 4,1 e 5,31, e os de teor em cloreto entre 17,4 mg/L e 32mg/L. Para a condutividade eléctrica os dados situam-se no intervalo de valores entre 263 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 316 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Quanto à alcalinidade os valores encontram-se confinados entre 91 mg/L e 147

mg/L. Os valores, em relação ao teor em bicarbonato, estão compreendidos entre 111,0 mg/L e 179,3 mg/L.

Para os parâmetros, sódio, sulfato e sílica existe, para cada um, sete observações. Relativamente à concentração em sódio os respectivos valores variam entre 37,4 mg/L e 45,0 mg/L. Quanto ao teor em sulfato os valores encontram-se confinados entre 2,6 mg/L e 8,4 mg/L. Os valores no que diz respeito à sílica encontram-se entre 87,5 mg/L e 145,7 mg/L.

O comportamento dos parâmetros físico-químicos analisados nos três parágrafos anteriores (pH, condutividade eléctrica, alcalinidade, teores em bicarbonato, cloreto, sódio, sulfato e sílica) aparenta ser estável. No entanto parece ainda ser insuficiente o número de dados para cada parâmetro físico-químico referido anteriormente, de forma a balizar a respectiva linha de base para a monitorização.

Por último, o parâmetro com menor número de registos (cinco) é o CO₂ livre, com um conjunto de dados cujos valores estão compreendidos entre 200,2 mg/L e 1401 mg/L. A insuficiência do número de registos relativos ao CO₂ livre, de que resulta um intervalo de valores muito fluído, não permite estabelecer a linha de base para este parâmetro, sendo necessário a recolha e validação de mais dados que conduzam à definição do intervalo de valores que balize a respectiva linha de base.

Em relação ao ponto de água mineral das Lombadas (Sistema Aquífero Água de Pau) foram analisados os dados dos parâmetros físico-químicos, caudal, temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO₂ livre, alcalinidade, bicarbonato, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo XI).

O conjunto de dados, relativamente ao caudal é somente de três o que é insuficiente para avaliar a estabilidade do mesmo.

Quanto à temperatura, o conjunto de dados é de nove, com valores compreendidos entre os 14,5°C e os 17,2°C, o que revela uma apreciável estabilidade no que se refere ao parâmetro temperatura, pelo que se afigura viável determinar a linha de base para este parâmetro. Quanto ao pH os dados, em número de seis, estão contidos entre 4,4 e 5,71. As oito determinações realizadas, em relação à condutividade eléctrica, apresentam-se confinadas entre 204 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que indica um comportamento estável, pelo que se afigura viável determinar a linha de base para a monitorização deste parâmetro.

Os teores em sódio e cloreto, respectivamente, com sete e oito dados incluídos na base hidrogeoquímica HYDROVULC, têm valores compreendidos entre 31,3 mg/L e 52,35 mg/L e entre 14,2 mg/L e 21,98 mg/L, respectivamente. A análise dos respectivos intervalos de valores dos parâmetros parece evidenciar uma certa estabilidade no comportamento dos mesmos, o que sugere viabilidade na determinação de linhas de base para estes parâmetros. O teor em sílica varia entre 34,8 mg/L e 119,0 mg/L.

O CO_2 livre é o parâmetro que tem um comportamento mais instável, dado que apresenta um intervalo de valores compreendidos entre 1014,34 mg/L e 2835 mg/L. A insuficiência de número de registos relativos ao CO_2 livre, de que resulta um intervalo de valores muito grande, não permite estabelecer uma linha de base para este parâmetro, sendo necessário a recolha e validação de mais dados que conduzam à definição de um intervalo de valores que balize essa linha.

Finalmente a alcalinidade, o bicarbonato e sulfato apresentam intervalos de valores de 84 mg/L a 226,0 mg/L, de 102,5 mg/L a 275,5 mg/L e de 2,67 mg/L a 24,0 mg/L, respectivamente. É de realçar, no entanto, o aumento abrupto dos valores, relativamente a estes parâmetros, na amostragem efectuada em Julho de 2005, face às anteriores. Estes valores, aparentemente anómalos, relativamente à alcalinidade e aos teores em bicarbonato e em sulfato podem estar relacionados com a crise sísmica Fogo-Congro que registou dois períodos de maior incremento, um em Maio e outro em Setembro de 2005, situação referida, anteriormente, no caso da Fumarola da Ribeira Grande.

Quanto à Água Azeda (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) foram analisados os dados dos parâmetros físico-químicos, caudal, temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO₂ livre, alcalinidade, bicarbonato, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo XII).

Para o parâmetro temperatura, o conjunto de dados é de vinte e seis observações, cujos valores estão compreendidos entre os 15° C e os 18,2° C, o que indica uma apreciável constância no que se refere a este parâmetro, pelo que se afigura viável determinar a linha de base para a monitorização da temperatura.

Relativamente à alcalinidade e ao teor em bicarbonato existem vinte e um dados, para cada um destes parâmetros cujos intervalos de valores estão circunscritos, respectivamente, entre 75,5 mg/L e 183,6 mg/L e entre 92,1mg/L e 223,99 mg/L.

Em relação ao pH e à condutividade eléctrica o número de registos incluídos na base hidrogeoquímica HYDROVULC é dezanove, para cada deles. Os intervalos de valores para aqueles parâmetros vão de 3,89 a 6,28 e de 176 µS/cm a 365 µS/cm,

respectivamente, o que configura uma certa estabilidade no que se refere a estes parâmetros, pelo que se afigura viável determinar as respectivas linhas de base para a monitorização.

O número de dados existentes para o teor em sílica é dezoito, com valores que oscilam entre 86,56 mg/L e 128,0 mg/L e o teor em sódio, com dezassete dados, tem valores compreendidos entre 30,5 mg/L e 45,4 mg/L, o que indica uma apreciável estabilidade no que se refere a estes dois parâmetros, pelo que parece viável determinar linhas de base para a monitorização destes parâmetros.

O conjunto de dados para o caudal é de dezasseis, com valores situados no intervalo de 0,25 L/s a 0,57 L/s.

O conjunto de dados para os teores em cloreto e em sulfato é também de dezasseis. Quanto ao teor em cloreto os valores encontram-se confinados entre 5,15 mg/L e 21,3 mg/L e em relação ao teor em sulfato os valores estão compreendidos entre 11,62 mg/L e 20,4 mg/L o que indica uma apreciável estabilidade no que se refere a estes dois parâmetros, pelo que se afigura viável determinar as linhas de base para a monitorização destes parâmetros.

O CO₂ livre, com quinze dados compilados, tem um intervalo de valores que vai de 297 mg/L a 2190 mg/L; esta grande oscilação de valores impossibilita, para este parâmetro, o estabelecimento de uma linha de base para a sua monitorização.

Relativamente à Caldeira Grande (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) foram analisados os dados dos parâmetros físico-químicos, temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO₂livre, alcalinidade, bicarbonato, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo XIII).

Quanto ao parâmetro temperatura, o conjunto de dados é de quarenta, com valores compreendidos entre 86°C e 100°C, o que revela uma apreciável estabilidade no que se refere à temperatura, pelo que se afigura viável determinar a respectiva linha de base para a monitorização.

Em relação à alcalinidade existem vinte e três dados, cujo intervalo de valores está circunscrito entre 560 mg/L e 865 mg/L, o que indica uma certa estabilidade no que se refere a este parâmetro, pelo que se afigura viável determinar a linha de base para a monitorização.

No que diz respeito ao teor em cloreto, os respectivos valores, em número de vinte e dois, estão contidos entre 106,12 mg/L e 378,4 mg/L.

Relativamente ao pH e à condutividade eléctrica, existem vinte e um dados, para cada um destes parâmetros, cujos valores vão de 7,7 a 8,73 e de 1800 µS/cm a 4500 µS/cm, na devida ordem. Se, para o pH, se afigura viável determinar a respectiva linha de base para a monitorização, dada a estabilidade dos dados, para o parâmetro condutividade eléctrica isso já não se verifica dada a amplitude do intervalo de valores registados.

O conjunto de dados para os teores em sódio, sulfato e sílica, é de dezanove para cada um. Para o sódio, os dados situam-se no intervalo de valores entre 464,75 mg/L e

617,6 mg/L. Os valores de teor em sulfato encontram-se confinados entre 19,0 mg/L e 93,7 mg/L. Quanto ao teor em sílica, os valores estão compreendidos entre 132,22 mg/L e 401,46 mg/L.

Finalmente o parâmetro com menor número de registos (oito) é o CO₂ livre com um conjunto de dados, cujos valores estão compreendidos entre 5,2 mg/L e 30,1 mg/L. Para o dado cuja concentração de CO₂ livre = 530,1 mg/L talvez possamos afirmar estar na presença ou de um valor anómalo ou de um dado muito pouco fiável.

No que diz respeito à Caldeira da Lagoa das Furnas (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) foram analisados os dados dos parâmetros, temperatura, pH, condutividade eléctrica, CO₂ livre, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo XIV).

O conjunto de dados, relativamente à temperatura é de vinte e seis, com valores compreendidos entre 93,2° C e 99,8° C, o que representa uma apreciável estabilidade no que se refere a este parâmetro, pelo que se afigura viável determinar a respectiva linha de base para a monitorização.

O conjunto de dados para o pH, condutividade eléctrica e teores em sódio, cloreto e sulfato, é somente de cinco observações, para cada parâmetro referido anteriormente, o que constitui um número insuficiente para se avaliar acerca da estabilidade dos mesmos, não permitindo estabelecer linhas de base para estes parâmetros; é pois necessário a recolha e validação de mais dados que conduzam à definição de intervalos de valores que balizem essas linhas.

Os valores de pH estão contidos entre 2,4 e 5,76. Para a condutividade eléctrica os dados situam-se no intervalo de valores entre 715 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2450 $\mu\text{S}/\text{cm}$. No que diz respeito ao teor em sódio o intervalo de valores encontra-se compreendido entre 47 mg/L e 120 mg/L. Os valores, relativamente ao teor em cloreto, estão compreendidos entre 12,0 mg/L e 2177,19 mg/L. Quanto ao teor em sulfato os valores encontram-se confinados entre 223,0 e 755,32 mg/L.

O número de dados existentes para o teor em sílica é quatro. Este intervalo de valores encontra-se confinado entre 250,4 mg/L e 444,69 mg/L.

O CO_2 livre (mg/L), com três dados apenas apresenta um intervalo de valores compreendidos entre os 55,0 mg/L e os 100,4 mg/L.

Relativamente à nascente do Torno (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) foram investigados os seguintes parâmetros físico-químicos e concentração de espécies em solução: caudal (L/s), temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade eléctrica, CO_2 livre, alcalinidade, bicarbonato, sódio, cloreto, sulfato e sílica (Anexo XV).

Para a temperatura os dados, em número de dezanove, estão compreendidos entre 37,7 $^{\circ}\text{C}$ e 46,3 $^{\circ}\text{C}$. O parâmetro temperatura revela uma apreciável estabilidade pelo que se afigura viável determinar a respectiva linha de base para a monitorização.

O conjunto de dados para o pH, condutividade eléctrica, alcalinidade e teor em bicarbonato é de quinze, para cada parâmetro citado. Os valores de pH variam entre 6,0 e 6,72. Os dados da condutividade eléctrica situam-se no intervalo de valores entre 854

$\mu\text{S/cm}$ e $1850 \mu\text{S/cm}$. No que diz respeito à alcalinidade o intervalo de valores encontra-se compreendido entre $539,73 \text{ mg/L}$ e $717,5 \text{ mg/L}$. Quanto ao teor em bicarbonato os valores encontram-se limitados entre $650,47$ e $873,35 \text{ mg/L}$. Exceptuando o parâmetro condutividade eléctrica, os restantes três (pH, alcalinidade e bicarbonato) aparentam ter um comportamento estável, pelo que se afigura viável determinar as respectivas linhas de base para a monitorização.

O número de dados existentes para o teor em sílica é catorze, encontrando-se estes confinados ao intervalo de valores entre $101,23 \text{ mg/L}$ e $186,29 \text{ mg/L}$, o que revela uma certa estabilidade, afigurando-se viável a determinação da respectiva linha de base para a monitorização.

Os valores para o caudal oscilam entre $1,07 \text{ L/s}$ a $1,77 \text{ L/s}$, para treze registos realizados.

Quanto ao teor em sódio, o número de registos incluídos na base hidrogeoquímica HYDROVULC é também treze, oscilando entre $268,0 \text{ (mg/L)}$ a $368,78 \text{ (mg/L)}$, o que indicia alguma estabilidade, parecendo viável a determinação da respectiva linha de base para a monitorização.

Relativamente ao CO_2 livre, de que existem doze registos, os valores oscilam entre $27,2 \text{ (mg/L)}$ a $1250,4 \text{ (mg/L)}$, intervalo que, pela sua amplitude, não permite a determinação da linha de base para a sua monitorização.

Existem também doze dados, quer para o teor em cloreto, quer para o teor em sulfato, cujos intervalos de valores estão circunscritos, respectivamente, entre 68,2 (mg/L) e 186,87 (mg/L) e entre 9,47 (mg/L) e 27,6 (mg/L); estes intervalos de valores configuram alguma estabilidade, afigurando-se viável determinar as respectivas linhas de base para a monitorização destes parâmetros.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No arquipélago dos Açores, constituído por nove ilhas de origem vulcânica localizadas entre as latitudes 37°N e 40° N e as longitudes 25°W e 31°W, ocorrem numerosas nascentes de águas minerais, predominantemente gasocarbónicas e termais. Estes pontos de água mineral encontram-se disseminados por quase todo o arquipélago, nomeadamente nas ilhas que constituem os grupos Central e 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 o que se deve a influências sofridas até à emergência, correspondendo na sua maioria a descargas de aquíferos de altitude em vulcões activos. A caracterização hidrogeológica e as respectivas implicações para a monitorização vulcanológica (dos pontos de água mineral da ilha de São Miguel) constituem o objecto do presente trabalho.

A caracterização da ilha de São Miguel, abarcando os enquadramentos geográfico, geoestrutural, geológico/geomorfológico e hidrogeológico foi seguida da distribuição dos 76 pontos de água mineral inventariados. Esta distribuição foi feita, atendendo à localização geográfica por concelhos, aos Complexos Vulcânicos, aos Sistemas Aquíferos e ao Tipo de Aquífero. Assim, verifica-se que os 76 pontos de água mineral se distribuem por apenas quatro concelhos, respectivamente Povoação (46 pontos, 60,6%), Ribeira Grande (23 pontos, 30,2%), Ponta Delgada (6 pontos, 7,9%) e Vila Franca do Campo (1 ponto, 1,3%). A distribuição dos pontos de água mineral envolve quatro Complexos Vulcânicos, respectivamente Furnas (45 pontos, 59,2%), Povoação (1 ponto, 1,3%), Fogo (24 pontos,

31,6%) e Sete Cidades (6 pontos, 7,9%). Os 76 pontos de água mineral inventariados distribuem-se por 3 dos 6 Sistemas Aquíferos, respectivamente Furnas-Povoação (46 pontos, 60,5%), Água de Pau (24, 31,6%) e Sete Cidades (6 pontos, 7,9%). No que concerne à tipologia dos aquíferos verifica-se que 62 pontos de água mineral emergem a partir de aquífero de altitude (81,6%) e 14 (18,4%) a partir de aquífero de base.

Através de um exaustivo levantamento histórico constatou-se que as primeiras referências às águas minerais dos Açores, particularmente de São Miguel, e à respectiva utilização terapêutica, surgem no século XVI com a obra de Gaspar Frutuoso, e desde então estes recursos hidrotermais foram alvo da atenção de numerosos investigadores. No entanto as primeiras análises químicas remontam ao ano de 1791 (Gourlay), tendo sido preciso esperar quase um século pela publicação de uma mais extensa recolha de dados analíticos, devida a Fouqué (1873), à qual se seguiram variadas contribuições, das quais se destacam as de Lepierre (1917), Acciaiuolli (1940), Carvalho (1955), Carvalho (1999), Cruz *et al.*, (1999), Cruz (2003) e Cruz & França (2006).

A recolha e validação de dados históricos e recentes relativos às águas minerais dos Açores foram completadas por um levantamento de campo, com amostragens em todas as ilhas onde existem recursos hidrominerais. Assim foi levada a cabo uma compilação de 96 amostras, 76 das quais respeitantes à ilha de São Miguel, desenvolvendo-se uma base de dados hidrogeoquímicos denominada HYDROVULC. 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.

No âmbito do presente trabalho apenas se trataram as águas minerais da ilha de São Miguel.

A caracterização hidrogeoquímica das águas minerais de São Miguel no que diz respeito aos parâmetros físico-químicos mostra que relativamente à temperatura se observa o valor máximo de 99,5°C e mínimo de 15,0°C, ambos no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. A condutividade eléctrica apresenta como valor máximo 28000 µS/cm (Sistema Aquífero Sete Cidades) e como valor mínimo 139 µS/cm (Sistema Aquífero Furnas-Povoação). O pH regista um valor máximo de 7,7 (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) e um mínimo de 2,2 (Sistema Aquífero Água de Pau). Os valores da alcalinidade variam entre 10,5 mg/L e 952,0 mg/L, ambos pertencentes ao Sistema Aquífero Furnas-Povoação. Verifica-se grande dispersão de valores de CO₂ livre, desde 8,2 mg/L (Sistema Aquífero Furnas-Povoação) a 1126,2 mg/L (Sistema Aquífero Água de Pau).

As fácies predominantes nas águas minerais da ilha de São Miguel 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.

O catião sódio destaca-se pela sua abundância relativa, apresentando uma concentração média de 467,3 mg/L, com um máximo de 6676,7 mg/L (Sistema Aquífero Sete Cidades) e um mínimo de 20,5 mg/L (Sistema Aquífero Água de Pau). Segue-se o catião cálcio com um valor médio de concentração igual a 49,9 mg/L um máximo de 508,3 mg/L (Sistema Aquífero Sete Cidades) e um mínimo de 1,2 mg/L (Sistema Aquífero Furnas-Povoação). As amostras do Sistema Aquífero Sete Cidades, as mais homogéneas

no que concerne à composição química, bem como as mais mineralizadas, apresentam teores consideráveis de potássio e magnésio com valores médios, respectivamente iguais a 315,2 mg/L e 541,5 mg/L; nestas amostras encontram-se também os valores máximos, registados na ilha de São Miguel, para os teores em potássio e magnésio, respectivamente 568,0 mg/L e 956,0 mg/L. Os valores mínimos para os catiões potássio e magnésio situam-se no Sistema Aquífero Água de Pau (1,9 mg/L) e no Sistema Aquífero Furnas-Povoação (0,04 mg/L) respectivamente.

Os aniões mais abundantes são o cloreto e o bicarbonato. O anião cloreto apresenta um valor máximo de concentração igual a 11296,9 mg/L (Sistema Aquífero Sete Cidades) e um mínimo de 16,3 mg/L (Sistema Aquífero Furnas-Povoação). O anião bicarbonato regista um valor máximo de concentração igual a 1161,4 mg/L e um valor mínimo de 12,8 mg/L, ambos observados no Sistema Aquífero Furnas-Povoação. O anião sulfato tem um teor máximo de 2000,0 mg/L (Sistema Aquífero Água de Pau) e um mínimo de 2,1 mg/L (Sistema Aquífero Furnas-Povoação).

Destacamos, de entre os 15 elementos menores e em traço sujeitos a análise, o boro (B), o alumínio (AL), o ferro (Fe), o lítio (Li), o manganês (Mn), o estrôncio (Sr), o chumbo (Pb), o zinco (Zn), o arsénio (As) e o bromo (Br). dado a sua importância, quer para os estudos vulcanológicos, quer para a balneoterapia. Nesse sentido, foi levado a cabo um tratamento estatístico, com indicação, para cada um dos elementos, do número de amostras, da média, do desvio padrão, do máximo, do mínimo e da mediana discriminadas por sistema aquífero e para a ilha de São Miguel.

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 aquecimento por vapor. A interpretação destes processos confirma a subdivisão das águas minerais de São Miguel em 4 grupos, proposta por Cruz & França (2006). Os grupos 1 e 2, 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 avaliação do estado de equilíbrio das águas minerais da ilha de São Miguel, foi realizada relativamente à sílica (mineral e gel), aos principais minerais carbonatados (calcite e dolomite) e a alguns silicatos, envolvendo 15 espécies minerais e utilizando o programa HIDSPEC no cálculo do Log IS.

No que diz respeito aos minerais de sílica verifica-se que as águas minerais da ilha de São Miguel estão sobre-saturadas em calcedónia, cristobalite e quartzo. Para a sílica gel constata-se que a maioria das águas minerais também estão sobressaturadas nesta espécie mineral com excepção das amostras AM3, AM13, AM39, AM46, AM59 e AM62.

Quanto aos principais minerais carbonatados, calcite e dolomite, observa-se, no geral, que as águas minerais de São Miguel são subsaturadas nestas espécies de

minerais. No entanto, as águas sobre-saturadas em relação à calcite correspondem às amostras cuja referência é a seguinte: AM12, AM36, AM42, AM64 e AM66. Quanto à dolomite existem seis águas minerais, também sobre-saturadas com as seguintes referências: AM36, AM42, AM63, AM66, AM73 e AM74.

No que concerne aos silicatos estudou-se o índice de saturação das águas minerais da ilha de São Miguel em relação as plagioclases – anortite e albite, ao feldspato potássico – microclina, as piroxenas – clinoesntatite e diópsido e aos minerais de argila – montmorilonite-Ca, montmorilonite-K, caulinite e ilite.

O comportamento geral relativamente à anortite e à albite é contrastante, pois as águas minerais estão na generalidade, subsaturadas na plagioclase cálcica e sobre-saturadas na plagioclase sódica. No entanto há exceções: as amostras AM44, AM75 e AM76 encontram-se sobressaturadas em anortite, e as amostras AM27, AM46, AM48, AM50, AM53, AM62 e AM69 manifestam-se subsaturadas em albite. Todas as amostras são sobre-saturadas em microclina,

Relativamente às piroxenas, todas as amostras estão subsaturadas em clinoenstantite e em diópsido, com exceção das amostras AM36, AM64 e AM66 no que toca a este último mineral.

No que diz respeito aos minerais de argila, Montmorilonite-Ca e Montmorilonite-K constata-se que as águas minerais da ilha de São Miguel são sobre-saturadas. Relativamente à caulinite e à ilite verifica-se que as amostras, em geral, estão também

sobre-saturadas, com excepção das águas minerais com as seguintes referências: AM9 e AM36 para a caulinite; AM9, AM27, AM36, AM46, AM50 e AM62 para a illite.

O estabelecimento da base de dados hidrogeoquímicos HYDROVULC constitui o cerne deste trabalho. Além de ter permitido compilar dados até agora dispersos susceptíveis de levarem a uma perda de informação, constitui uma ferramenta importante na utilização, em múltiplos campos, das águas minerais da ilha de São Miguel. Entre eles destacamos a aplicação terapêutica, que aliada a um moderno modelo de indústria termal pode potenciar o desenvolvimento socio-económico, e a monitorização vulcanológica, uma vez que pode permitir o estabelecimento de linhas de base relativos aos diferentes parâmetros físico-químicos que caracterizam as diferentes águas minerais ou grupos de águas semelhantes.

Neste trabalho, nem sempre foi possível estabelecer linhas de base para a monitorização vulcanológica para alguns parâmetros físico-químicos, referentes às emergências estudadas no período de tempo compreendido entre 1900 (século XX) e 2006 (século XXI), por insuficiência ou discrepância dos dados necessários à definição de intervalos de valores que balizem essas linhas. No entanto a recolha e validação de mais dados pode levar a esse objectivo importante que se afigura cada vez mais próximo.

Actualmente existem treze pontos de água mineral monitorizados, na ilha de São Miguel, pelo CVARG, sugerindo-se o alargamento dessa rede a novos pontos e a inclusão de mais pontos de águas frias, pouco mineralizadas e com possíveis potencialidades de acusarem mais facilmente alterações, alertas importantes na monitorização vulcanológica.

BIBLIOGRAFIA

- AA, (2001) - Arquivo dos Açores. Edição Digital, Vol. II, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- AA, (2001) - Arquivo dos Açores. Edição Digital, Vol. VIII, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- AA, (2001) - Arquivo dos Açores. Edição Digital, Vol. XIV, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- ABDEL-MONEM, A. A., FERNANDEZ, L. A. & BOONE, G. M. (1975) - K/Ar ages from the eastern Azores group (Santa Maria, São Miguel and the Formigas Islands). *Lithos*, 8, pp. 247-254.
- ABRANCHES, J. C. (1869) - Álbum Michaelense. Typ. M.C. Botelho, Ponta Delgada, 138 pp.
- 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. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 1, Movimento das estâncias nos anos de 1941 e 1942. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 142 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 2, Historia das Águas Minerais: Introdução: legislação e publicações. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 264 pp.

- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 3, Historia das Águas Minerais: águas minerais com concessão. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 192 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 4, Historia das Águas Minerais: águas minerais com concessão, continuação. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 353 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 5, Historia das Águas Minerais: águas minerais declaradas abandonadas ou sem alvará de concessão. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 275 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1944) - Aguas de Portugal minerais e de mesa: Vol. 6, Bibliografia. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 190 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1952) - Le Portugal hydromineral. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Vol. 1, Lisboa, 284 pp.
- ACCIAIUOLI, L. M. C. (1953) - Le Portugal hydromineral. Direcção-Geral de Minas e Serviços Geológicos, Vol. 2, Lisboa, 574 pp.
- AFONSO, A., SANTOS, F., FORJAZ, V. & VICTOR, M. (1994) - Gravity and resistivity surveys in hydrothermal modelling (S. Miguel - Azores). Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, pp 1349-1353.

- AGUIAR, P. C. B. (1999) - Ecologia microbiana de fontes hidrotermais em São Miguel. Relatório de Estágio, Departamento de Biologia, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 55 pp.
- ALBUQUERQUE, L. S. M. (1824) - Curso Elementar de Physica, e de Chymica. Typ. Antonio R. Galhardo, Vol. III, Lisboa, 275 pp.
- ALBUQUERQUE, L. S. M. (1824) - Curso Elementar de Physica, e de Chymica. Typ. Antonio R. Galhardo, Vol. IV, Lisboa, 350 pp.
- ALBUQUERQUE, L. S. M. & MENEZES, I. P.C. (1826) - Observação sobre a Ilha de S. Miguel recolhidas pela comissão enviada à mesma Ilha em Agosto de 1825, e regressada em Outubro do mesmo ano. Impressão Régia, Lisboa, 47 pp.
- ALMEIDA, G. (2002) - Sistema Internacional de Unidades (SI). Plátano Edições Técnicas, 3^o edição, Lisboa, 240 pp.
- ARRUDA, J. B. & CABRAL, A. S. (1911) - Relatório das Águas Medicinaes da Ladeira da Velha. Typ. Annibal, Ponta Delgada, 14 pp.
- AZEVEDO, J. M. (1998) - Geologia e Hidrogeologia da ilha das Flores (Açores-Portugal). Tese de Doutoramento no ramo da Geologia, especialidade de Hidrogeologia. Departamento de Ciências da Terra. Universidade de Coimbra. 2^o Vol. 259 pp.

- BARATA, F. A. C. (1871) - Estudo Sobre as Teorias Chímicas Modernas. Imprensa da Universidade, Coimbra, 160 pp.
- BASTO, A. (1918) - Curso de Análise Química Qualitativa Inorgânica. França & Arménio, 2º Vol., Coimbra, 213 pp.
- BENCINI, A., MARTINI, M. & PICCARDI, G. (1982) - New investigations on thermal manifestations of S.Miguel (Azores). Arquipélago, 3, pp. 301-312.
- BOOTH, B., CROASDALE, R. & WALKER, G. P. L. (1978) - A quantitative study of five thousand years of volcanism on S. Miguel, Azores. Phil. Trans. R. Soc. London., 228, pp. 89-118.
- BUFORN, E., UDÍAS, A. & COLOMBÁS, M. (1988) - Seismicity, source mechanisms and tectonics of the Azores-Gibraltar plate boundary. Tectonophysics, 15, pp 89-118.
- 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.
- CARREIRO, B. T. & SEQUEIRA, M. (1890) - A estação thermal das Furnas em 1889. Junta Geral do Districto de Ponta Degada, Ponta Delgada, 59 pp.
- 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, A. H. (1961) - Guia de Análise Química das Águas (potáveis, minerais e para a indústria). Oficinas Gráficas da Rádio Renascença, Lisboa, 162 pp.
- CARVALHO, M. R. E. (1989) - HIDSPEC, um programa de especiação e cálculo de equilíbrios água /rocha. Aplicações. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Universidade de Lisboa, 238 pp.
- 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.
- CAVENTOU, J. B. (1816) - Nouvelle Nomenclature Chimique. Crochard, Libraire, Éditeur des annales de chimie, Paris, 298 pp.
- CARMO, R. L. (2004) - Geologia Estrutural da Região Povoação-Nordeste (Ilha de S. Miguel, Açores). Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 121 pp.
- CASTELLO BRANCO, A., ZBYSZEWSKI, G., MEDEIROS, A. C. & ALMEIDA, F. M. (1957) - Étude géologique de la région de Furnas dans l'île de S.Miguel (Açores). Comun. Serv. Geol. Portugal, 38, pp. 241-256.
- CHANCEL, G. (1867) - Précis d'analyse chimique qualitative. Victor Masson et Fils, Paris, 699 pp.
- CHANG, R. (1994) - Química. McGraw-Hill de Portugal, L^{da}, 5^o edição, Lisboa, 1117 pp.

- CHAVES, F. A. (1906) - A temperatura das nascentes thermaes das Furnas na Ilha de S. Miguel. Imprensa Nacional, Lisboa, 7 pp.
- CIONI, R. & TADDEUCCI, G. (1994) - Continuous geochemical monitoring of volcanoes – State of the art. In European Volcanological Project, European Science Foundation, Strasbourg, pp 1-36.
- COLE, P. D., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., GASPAR, J. L., DUNCAN, A. M. & GUEST, J. E. (1995) - An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 92, pp. 1-2, 40-53.
- COSTA, A. (2006) - Atlas hidrogeológico das águas minerais dos Açores. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre, Univ. Açores, Ponta Delgada, 190 pp. (em Preparação).
- COUTINHO, R. M. (1990) - Estudo hidrogeológico do Maciço das Sete Cidades. Dissertação de Mestrado em Geologia Económica e Aplicada, Universidade de Lisboa, Lisboa, 134 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). Tese de Doutoramento no ramo da Geologia, especialidade de Hidrogeologia, Universidade dos Açores, 433 pp.

- CRUZ, J. V. (2001) - Recursos Subterrâneos. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores. Relatório Técnico-Científico 03/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 453 pp.
- CRUZ, J. V. (2003) - Volcanoes Geochemical Monitoring in the Azores Archipelago: overview and prospect for the future. *Vulcânica, Revista Portuguesa de Vulcanologia*, vol. 1, pp. 7-21.
- CRUZ, J. V. (2004) - Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. SRA, Ponta Delgada, 288 pp.
- 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. (2006) - Hydrogeochemistry of thermal and mineral springs of the Azores archipelago (Portugal). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 151, pp. 382-398.
- CUSTODIO, E. & LAMAS, M. R. (1983) - Hidrología Subterránea. Omega S. A., 2ª ed., 2 Vol. Barcelona., 2350 pp.
- D. G. M. S. G. & I. H. C. L. (1931) - Le Portugal hydrologique et climatique. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 176 pp.
- DARZENS, G. (1911) - Iniciação Química. Guimarães & Cª editores, Lisboa, 140 pp.

- DIAS, U. M. (1936) - História do Vale das Furnas. Empresa Tipográfica, Vila Franca do Campo, 158 pp.
- FARIA, C. (2002) - Estudo de anomalias geoquímicas associadas a processos de desgaseificação difusa na ilha do Faial: contribuição para a cartografia de falhas activas. Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 95 pp.
- FERREIRA, T. (1994) - Contribuição para o estudo das emanações gasosas associadas a processos de vulcanismo no arquipélago dos Açores. Tese A.P.C.C., Universidade dos Açores, 183 pp.
- FERREIRA, T. (2000) - Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Tese de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Universidade dos Açores, 248 pp.
- FERNANDEZ, L. A. (1982) - The petrologie and geochemistry of the Nordeste Volcanic Complex, S. Miguel, Azores. Arquipélago, série Ciências da Natureza, 3 pp 145-158.
- FEYNMAN, R. (1998) - “Esta a brincar Sr. Feynman!” - retrato de um físico enquanto homem, Gradiva Publicações, Lda, 328 pp.

- FORJAZ, V. H. (1994) - Geologia económica e aplicada da ilha de S. Miguel - Recursos vulcanogeotérmicos. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, Universidade dos Açores, 599 pp.
- FORJAZ, V. H. (1999) - Alguns vulcões da Ilha de S. Miguel. Observatório Vulcanológico dos Açores, Ponta Delgada, 160pp.
- FORJAZ, V. H. & SERRALHEIRO, A. (1994) - Carta hidrotermal das Furnas, S. Miguel - Açores. Edição Observatório Vulcanológico e Geotérmico dos Açores, Ponta Delgada, 1 folha.
- FOUQUE, F. (1873) - Les eaux thermales de l'île de San-Miguel (Açores), Portugal. Lallemand Frères Imprimeurs, Lisboa, 79 pp.
- FOUQUE, F. & CABRAL, P. C. M. (1873) - Les eaux thermales de l'île de San-Miguel (Açores), Portugal. Lallemand Frères Imprimeurs, Lisboa, 150 pp.
- 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 (1904) - Água carbo-Gazosa das Lombadas: Ilha de S. Miguel. Imprensa Freire-Grav., Lisboa, 10 pp.

- FREITAS, B. J. S. (1845) - Uma viagem ao Valle das Furnas na Ilha de S. Miguel em Junho de 1840. Imprensa Nacional, Lisboa, XVI, 106, [4] pp.
- FRUTUOSO, G. (1981) - Livro Quarto das Saudades da Terra-Vol II. Instituto Cultural, Ponta Delgada, S. Miguel, Açores, 397 pp.
- FRUTUOSO, G. (1985) - Livro Quarto das Saudades da Terra-Vol III. Instituto Cultural, Ponta Delgada, S. Miguel, Açores, 461 pp.
- GARNIER, J. (1845) - Nomenclatura Chimica Franceza, Sueca, Alemãa e Synonymia. Typ. Revista, Porto, 102 pp.
- GASPAR, J. L. (1988) - Recolha e armazenamento de dados em petrologia e geoquímica. Provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, Universidade dos Açores, 165 pp.
- 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, 255 pp.
- GASPAR, J. L., QUEIROZ, G., FERREIRA, T., & FORJAZ, V. H. (1991) - Referências bibliográfica sobre a geologia dos Açores. Departamento de Geociências da Universidade dos Açores, Centro de Vulcanologia do INIC. Ponta Delgada, 70 pp.

- GASPAR, J. L.; FERREIRA, T.; QUEIROZ, G.; WALLENSTEIN, N.; PACHECO, J.; GUEST, J;
DUNCAN, A. E COLE, P. (1995) - Evolução morfoestrutural do Vulcão das Furnas (ilha de
S. Miguel, Açores). Universidade do Porto – Faculdade de Ciências Museu e Laboratório
Mineralógico e Geológico, Memória nº 4, 999-1003.
- GOMES, F. J. S. (1914) - Elementos de Química. Livraria Escolar de Cruz, Braga, 415 pp.
- 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.
- 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 Volcanology and Geothermal Research 92, pp 1-29.
- HOEFER, F. (1845) - Nomenclature de Classifications Chimiques. J. B. Baillièrre, Paris, 184 pp.
- I. G. M. (1999) - Recursos hídricos subterrâneos da ilha de S.Miguel – Açores. Relatório Final,
IGM, Lisboa, 76 pp.
- I. S. M .H .C. (1982) - Actas do Congresso Internacional de Ternalismo Médico. International
Society of Medical Hidrology and Climatology, Ponta Delgada, 189 pp.
- J. G. A. D .P .D. (1930) - Classification Générale et quelques propriétés chimiques et
physiques des eaux minéro-médicinales de Furnas São Miguel Açores. Junta Geral
Autónoma do Districto de Ponta Delgada. Oficinas de Artes Gráficas, Ponta Delgada, 32 pp.

JOHNSON, C. L., WIJBRANS, J. R., CONSTABLE, C. G., GEE, J., STAUDIEGEL, H., TAUXE, L., FORJAZ, V. H. & SALGUEIRO, M. (1998) - 40 Ar/39 Ar ages and paleomagnetism of São Miguel lavas, Azores, Earth and Planetary Science Letters, 160 (3-4), pp. 637-649.

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.

LOPES, A. L. (1892) - Águas minero-medicinaes de Portugal. M. Gomes, Livreiro-Editor, Lisboa, 476 pp.

LOUVAT, P. (1997) - Étude Géochimique de l'érosion Fluviale d'îles volcaniques à l'aide des bilans d'éléments majeurs et traces. Thèse Présentée en vue de l'obtention du grade de Douteur de l'Université, Institut de Physique du globe de Paris, Paris, 176 pp.

MARTINS, R.; RODRIGUES, A. & CUNHA, R. (2002) - Aves Nativas dos Açores. João Azevedo Editor, Mirandela, 87 pp.

MCGUIRE, B.; KILBURN, C. E MURRAY, J.; (1995) - Monitoring active volcanoes – Strategies, procedures and techniques. UCL Press.

MELLO, J. M. (1868) - Descrição do Vale das Furnas. Typ. M. J. Moraes, Ponta Delgada, 52 pp.

MIRANDA, A. P. (1876) - Primeiros estudos sobre as águas thermais do valle das Furnas. Typ. Chronica dos Açores, Ponta Delgada, 35 pp.

- 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.
- MUECKE, G. K. , ADE - HALL, J. M., AUMENTO, F., MCDONALD, A., REYNOLDS, P. H., HYNDMAN, R. D., QUINTINHO, J., OPDYKE, N. & LOWRIE, W. (1974) - Deep drilling in na active geothermal area in the Azores, *Nature* 252, pp 281-285.
- NAQUET, A (1867) - Principes de Chimie. F. Savy, Libraire-Éditeur, 2º Vol., Paris, 443 pp.
- NARCISO, A. & MACHADO, F. O. (1931) - O vulcanismo açoreano e as águas termais do Vale das Furnas. Boletim de Minas-Abril a Junho de 1931.D.G.M.S.G., Lisboa, pp 3-9.
- NEEDHAM, H. & FRANCHETEAU, J. (1974) - Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocaen near 36° 48`north, *Earth Planet. Sci. Lett.* 22, pp 29-43.
- NUNES, J. C., ALVES, J. L., FORJAZ, V. H. (1992) - Sismicidade instrumental dos Açores no período 1980 - 1989. Implicações neotectónicas. In: C.S. Oliveira, A.R. Lucas e J. H. Guedes (Eds.), 10 anos após o sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980, Lisboa. LNEC. Vol. I; pp 141-160.

- NUNES, J. C., OLIVEIRA, C. S. (1997) - Caracterização da sismicidade do vulcão do Fogo (ilha de São Miguel) - Relatório final. Relatório Técnico - Científico 11/DGUA/1997. Departamento de Geociências. Universidade dos Açores. 125 pp.
- OLIVEIRA, A. R. (1921) - Águas medicinais do Vale das Furnas. Tese de doutoramento em Medicina e Cirurgia, Faculdade de Medicina de Lisboa, 64 pp.
- OSKARSSON, N. (1996) - Volcanic Components in Groundwater: monitoring and interpretation. In: F. Barberi, R. Casale, R. Fantechi. (Editors), The mitigation of volcanic hazards course proceedings. European Commission, Brussels, pp. 393-401.
- PARTINGTON, J. R. (1962) - Química General e Inorgânica. Dossat, Madrid, 1124 pp.
- PEREIRA, M. C. (1922) - Indicações terapêuticas das águas medicinais das Furnas e Ferraria. Typ. Ruy Moraes, Ponta Delgada, 15 pp.
- PEREIRA, M. C. (1926) - Águas minero-medicinais das Furnas., Tip. Artes Gráficas, Ponta Delgada, 33 pp.
- QUEIROZ, G. (1990) - Aspectos vulcanológicos do maciço das Sete Cidades. Tese PPCI, Centro de Vulcanologia do I.N.I.C., Universidade dos Açores, 148 pp.
- QUEIROZ, G. (1997) - Vulcão das Sete Cidades (S. Miguel, Açores) – História eruptiva e avaliação do hazard. Tese de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia, Universidade dos Açores, 226 pp.

- QUEIROZ, G., GASPAR, J. L., COLE, P., GUEST, J., WALLENSTEIN, N., DUNCAN, A. & PACHECO, J. (1995) - Erupções vulcânicas no Vale das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores) na primeira metade do século XV. *Açoreana*, 8, pp. 159-168.
- RICHE, A. & BARDY, C. (1888) - Agua mineral das Lombadas (ilha de São Miguel, Açores). Typ. Popular, Ponta Delgada, 9 pp.
- RODRIGUES, J. J. (1913) - Tratado Elementar de Química Inorgânica. Aillaud & Bertrand, Paris, 419 pp.
- ROSÉ, H. (1836) - *Traité Pratique D' Analyse Chimique*. H. Dumont Libraire-Éditeur, Bruxelles, XXVI, 478, 65 pp.
- SILVA, J. S. (1876) - *As Aguas Thermais das Caldas da Rainha*. Imprensa da Universidade, Coimbra, 50 pp.
- SILVA, R. A. A. MELO (2004) – Características da sismicidade na região central da ilha de São Miguel (Açores): identificação e análise de famílias sísmicas. Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 136 pp.
- SMITH, A. (1911) - *Introdução à Chymica Geral*. Imprensa da Universidade, Vol I, Coimbra, 489 pp.

- S. T. N. (1939) - Station Themale de la Vallée de Furnas – Classification Générale et quelques propriétés chimiques et physiques de ses eaux minéro-médicinales – Açores – São Miguel. Papelaria Ambar, Ponta Delgada, 50 pp.
- SIVISA (2006) – Carta de sismicidade dos Açores, no período de 1980 a 2006.
- TAVARES, F. (1810) - Instruções e cautelas praticas – parte I. Real Imprensa da Universidade, Coimbra, 359 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.
- THENARD, L. J. (1817/1818) - Traité de Chimie Élémentaire, Théorique et Pratique. Crochard, Vol. I, Paris, 648 pp.
- THENARD, L. J. (1817/1818) - Traité de Chimie Élémentaire, Théorique et Pratique. Crochard, Vol. II, Paris, 712 pp.
- THENARD, L. J. (1817/1818) - Traité de Chimie Élémentaire, Théorique et Pratique. Crochard, Vol. IV, Paris, 393 pp.
- T. I. P (1893) - Água Carbo-Gazosa das Lombadas Ilha de S. Miguel (Açores). Typographia Industrial Portugueza, Lisboa, 14 pp.

- TROTA, A. N. (1998) - Injection testing at the Ribeira Grande geothermal field. Proceedings of the seminar - electricity production from geothermal energy. Internacional summer school on direct application of geothermal energy. INOVA, pp 9.2 - 9.13.
- TROTA, A. N. (2002) - Aplicação da técnica GPS à monitorização de vulcões activos na ilha de S. Miguel (Açores). Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 151 pp.
- TROTA, A. N. & FORJAZ, V. H. (1995) - Análise comparada de métodos de cálculo de temperaturas de formação aquando da perfuração de poços geotérmicos nos Açores. Memórias do IV Congresso Nacional de Geologia, Porto, Portugal, No. 4, pp. 891-892.
- WALLENSTEIN, N. (1999) - Estudo da história recente e do comportamento eruptivo do vulcão do Fogo (S. Miguel, Açores). Avaliação preliminar do hazard. Tese de doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores, departamento de Geociências, 266 pp.
- WALLENSTEIN, N., DUNCAN, A. M., ALMEIDA, M. H. & PACHECO, J. M. (1998) - A erupção de 1563 do Pico do Sapateiro, S. Miguel (Açores), Proceedings of the «Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica» (CD-ROM), pp. 5.
- WEBSTER, J. W. (1821) - A description of the island of St. Michael, comprising an account of its structure; with remarks on the other Azores or western islands. R.P. & Williams, Boston, 244 pp.

WESTON, F. S. (1964) - List of recorded volcanic eruptions in the Azores with brief reports.

Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciências Lisboa, 10, pp. 3-18.

VALADÃO, P. (2000) - Contribuição para o estudo de movimentos de vertente nos Açores.

Tese de Mestrado no ramo de Geologia, especialidade Vulcanologia e Riscos Geológicos, Universidade dos Açores, 119 pp.

ZBYSZEWSKI, G. (1961) - Étude géologique de l'île de S. Miguel (Açores). Comunicações dos

Serviços Geológicos de Portugal, tomo XLV, 79 pp.

ZBYSZEWSKI, G. (1970) - As possibilidades de aproveitamento da energia geotérmica nos

Açores. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, 15 pp.

ZBYSZEWSKI, G., D'ALMEIDA, M. F., FERREIRA, O. V. & ASSUNÇÃO, C. T. (1958) - Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Notícia Explicativa da Folha "B", S. Miguel (Açores). Serviços Geológicos de Portugal. 37 pp.

ANEXOS

**ANEXO I – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO
ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA)**

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84		Ilha	Concelho	Freguesia	Referência
		M	P				
AM1	Miguel Henriques	649362	4182018	Smg	Povoação	Furnas	1
AM2	Água de Prata	649365	4182020	Smg	Povoação	Furnas	1
AM3	Caldeirão	649410	4182025	Smg	Povoação	Furnas	1
AM4	Água Azeda	649452	4182034	Smg	Povoação	Furnas	1
AM5	Água Azeda de Rebentão	649418	4182035	Smg	Povoação	Furnas	1
AM6	Água do Rego	649487	4182046	Smg	Povoação	Furnas	1
AM7	Terra Nostra I	647928	4181587	Smg	Povoação	Furnas	1
AM8	Terra Nostra II	647936	4181570	Smg	Povoação	Furnas	1
AM9	Caldeira Grande	649349	4181933	Smg	Povoação	Furnas	1
AM10	Caldeira Asmodeu	649383	4181951	Smg	Povoação	Furnas	1
AM11	Quenturas I	649307	4181753	Smg	Povoação	Furnas	1
AM12	Quenturas III	649307	4181752	Smg	Povoação	Furnas	1
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	646908	4181504	Smg	Povoação	Furnas	1
AM14	Glória Patri	648459	4182391	Smg	Povoação	Furnas	1
AM15	Torno	649238	4181701	Smg	Povoação	Furnas	1
AM16	Grutinha II	649247	4181706	Smg	Povoação	Furnas	1
AM17	Grutinha I	649255	4181710	Smg	Povoação	Furnas	1
AM18	Água da Poça	649104	4181733	Smg	Povoação	Furnas	1
AM19	Morangueira	649128	4181702	Smg	Povoação	Furnas	1
AM20	Banhos dos Cabaços	647873	4181685	Smg	Povoação	Furnas	1
AM21	Banhos Férreos I - Balneário	648688	4181936	Smg	Povoação	Furnas	1
AM22	Banhos Férreos I - Emergência	648695	4181941	Smg	Povoação	Furnas	1
AM23	Banhos Férreos II	648696	4181937	Smg	Povoação	Furnas	1
AM24	Banhos Férreos III	648697	4181935	Smg	Povoação	Furnas	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84		Ilha	Concelho	Freguesia	Referência
		M	P				
AM25	Água Férrea	649303	4181753	Smg	Povoação	Furnas	1
AM26	Nascente da Ponte	649347	4182012	Smg	Povoação	Furnas	1
AM27	Água da Helena	648705	4182278	Smg	Povoação	Furnas	1
AM28	Valério I	648270	4181778	Smg	Povoação	Furnas	1
AM29	Valério II	648275	4181794	Smg	Povoação	Furnas	1
AM30	Valério III	648296	4181791	Smg	Povoação	Furnas	1
AM31	Dr. Bruno	648674	4181950	Smg	Povoação	Furnas	1
AM32	Sanguinhal	647876	4181239	Smg	Povoação	Furnas	1
AM33	Serra do Trigo	650175	4182086	Smg	Povoação	Furnas	1
AM34	Padre José	649344	4181882	Smg	Povoação	Furnas	1
AM35	Caldeira Esguicho	649410	4181996	Smg	Povoação	Furnas	1
AM36	Água Santa	649417	4182022	Smg	Povoação	Furnas	1
AM37	Dr. Dinis	649415	4182031	Smg	Povoação	Furnas	1
AM38	Tio José de Sousa	649459	4182046	Smg	Povoação	Furnas	1
AM39	Caldeira dos Vimes	649462	4182031	Smg	Povoação	Furnas	1
AM40	Caldeira dos Tambores	649388	4181933	Smg	Povoação	Furnas	1
AM41	Ribeira Quente I	649316	4178485	Smg	Povoação	Ribeira Quente	1
AM42	Ribeira Quente II	649217	4178559	Smg	Povoação	Ribeira Quente	1
AM43	Ribeira Quente III	649252	4178493	Smg	Povoação	Ribeira Quente	1
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	648749	4177510	Smg	Povoação	Ribeira Quente	1
AM45	Água de Alcântara	650421	4181988	Smg	Povoação	Furnas	1
AM46	Água Azeda da Povoação	653266	4183183	Smg	Povoação	Povoação	1
AM47	Porto Formoso I	636675	4187280	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
AM48	Porto Formoso II	636852	4187011	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84		Ilha	Concelho	Freguesia	Referência
		M	P				
AM49	Porto Formoso III	637184	4187309	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
AM50	Porto Formoso IV	636852	4187001	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
AM51	Ladeira Velha	635766	4187298	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
AM52	Ladeira Velha Férrea	635789	4187290	Smg	Ribeira Grande	Porto Formoso	1
AM53	Ribeira das Gramas	633764	4185782	Smg	Ribeira Grande	Ribeirinha	1
AM54	Nascente do Pico Alto	633788	4184394	Smg	Ribeira Grande	Ribeirinha	1
AM55	Lombadas	635560	4182116	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM56	Lombadas Furo I	635579	4182124	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM57	Lombadas Furo II	635564	4182177	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM58	Fumarola R.G.	633213	4184476	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM59	Caldeira Grande R.G.	633200	4184460	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM60	Caldeira Pequena R.G.	633186	4184464	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM61	Pocinha/Caldeira da Ribeira Grande Férrea	632950	4184670	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM62	Caldeira Velha Nasc.	632123	4182543	Smg	Ribeira Grande	Ribeira Seca	1
AM63	Caldeira Velha Fum.	632051	4182678	Smg	Ribeira Grande	Ribeira Seca	1
AM64	FC1_Vieira e Vieira	630844	4187518	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM65	FC2_BEL Portugal	631184	4187370	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM66	FC3_Agro Vieiras	631746	4185902	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM67	FC4_INSULAC	629709	4185461	Smg	Ribeira Grande	Ribeira Seca	1
AM68	FC6_Monte dos Frades	632330	4186343	Smg	Ribeira Grande	Matriz	1
AM69	Nascente da Magarça	632181	4184467	Smg	Ribeira Grande	Conceição	1
AM70	Azeda dos Castelinhos	635395	4177160	Smg	Vila Franca do Campo	Água D' Alto	1
AM71	Ferraria II	600927	4190708	Smg	Ponta Delgada	Ginetes	1
AM72	Ferraria I	600925	4190704	Smg	Ponta Delgada	Ginetes	1

Ref.	Designação	Coordenadas UTM WGS 84		Ilha	Concelho	Freguesia	Referência
		M	P				
AM73	Ferraria III (AC2)	600954	4190922	Smg	Ponta Delgada	Ginetes	1
AM74	Ferraria IV (AC3)	600981	4190917	Smg	Ponta Delgada	Ginetes	1
AM75	Mosteiros	603404	4193822	Smg	Ponta Delgada	Mosteiros	1
AM76	São Lázaro	603411	4193842	Smg	Ponta Delgada	Mosteiros	1

Referências: 1 – Projecto HYDROVULC

**ANEXO II – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO
ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO
E VULCANOLÓGICO)**

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
AM1	Miguel Henriques	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM2	Água de Prata	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM3	Caldeirão	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM4	Água Azeda	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM5	Água Azeda de Rebentão	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	191,7
AM6	Água do Rego	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM7	Terra Nostra I	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	220,0
AM8	Terra Nostra II	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	220,0
AM9	Caldeira Grande	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	197,3
AM10	Caldeira Asmodeu	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	194,4
AM11	Quenturas I	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,1
AM12	Quenturas III	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,1
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	287,2
AM14	Glória Patri	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	203,7
AM15	Torno	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM16	Grutinha II	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM17	Grutinha I	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM18	Água da Poça	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM19	Morangueira	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM20	Banhos dos Cabaços	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	226,5
AM21	Banhos Férreos I - Balneário	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM22	Banhos Férreos I - Emergência	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM23	Banhos Férreos II	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM24	Banhos Férreos III	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
AM25	Água Férrea	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	192,4
AM26	Nascente da Ponte	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM27	Água da Helena	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	208,3
AM28	Valério I	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	204,2
AM29	Valério II	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	203,8
AM30	Valério III	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	202,2
AM31	Dr. Bruno	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	200,0
AM32	Sanguinhal	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	230,0
AM33	Serra do Trigo	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	202,0
AM34	Padre José	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	193,5
AM35	Caldeira Esguicho	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	196,8
AM36	Água Santa	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM37	Dr. Dinis	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,4
AM38	Tio José de Sousa	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM39	Caldeira dos Vimes	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM40	Caldeira dos Tambores	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	190,0
AM41	Ribeira Quente I	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	52,4
AM42	Ribeira Quente II	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	57,5
AM43	Ribeira Quente III	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	76,8
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	60,0
AM45	Água de Alcântara	Smg	Complexo Vulcânico das Furnas	240,0
AM46	Água Azeda da Povoação	Smg	Complexo Vulcânico da Povoação	411,1
AM47	Porto Formoso I	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	22,0
AM48	Porto Formoso II	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	30,0

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
AM49	Porto Formoso III	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	7,8
AM50	Porto Formoso IV	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	30,0
AM51	Ladeira Velha	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	6,7
AM52	Ladeira Velha Férrea	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	5,1
AM53	Ribeira das Gramas	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	150,0
AM54	Nascente do Pico Alto	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	280,0
AM55	Lombadas	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	569,5
AM56	Lombadas Furo I	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	565,7
AM57	Lombadas Furo II	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	560,6
AM58	Fumarola R.G.	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	250,0
AM59	Caldeira Grande R.G.	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	250,0
AM60	Caldeira Pequena R.G.	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	250,0
AM61	Pocinha/Caldeira da Ribeira Grande Férrea	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	219,8
AM62	Caldeira Velha Nasc.	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	400,0
AM63	Caldeira Velha Fum.	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	345,8
AM64	FC1_Vieira e Vieira	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	48,7
AM65	FC2_BEL Portugal	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	59,1
AM66	FC3_Agro Vieiras	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	116,0
AM67	FC4_INSULAC	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	68,1
AM68	FC6_Monte dos Frades	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	120,0
AM69	Nascente da Magarça	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	162,0
AM70	Azeda dos Castelinhos	Smg	Complexo Vulcânico do Fogo	214,4
AM71	Ferraria II	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	0,6
AM72	Ferraria I	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	0,0

Ref.	Designação	Ilha	Contexto Vulcanológico	Altitude (m)
AM73	Ferraria III (AC2)	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	19,2
AM74	Ferraria IV (AC3)	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	19,6
AM75	Mosteiros	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	7,3
AM76	São Lázaro	Smg	Complexo Vulcânico das Sete Cidades	4,5

**ANEXO III – INVENTÁRIO DOS PONTOS DE ÁGUAS MINERAIS NO
ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES (CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO)**

Ref.	Designação	Ilha	Tipo	Sistema Aquífero	Tipo de aquífero
AM1	Miguel Henriques	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM2	Água de Prata	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM3	Caldeirão	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM4	Água Azeda	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM5	Água Azeda de Rebentão	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM6	Água do Rego	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM7	Terra Nostra I	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM8	Terra Nostra II	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM9	Caldeira Grande	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM10	Caldeira Asmodeu	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM11	Quenturas I	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM12	Quenturas III	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM14	Glória Patri	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM15	Torno	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM16	Grutinha II	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM17	Grutinha I	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM18	Água da Poça	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM19	Morangueira	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM20	Banhos dos Cabaços	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM21	Banhos Férreos I Balneário	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM22	Banhos Férreos I Emergência	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM23	Banhos Férreos II	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM24	Banhos Férreos III	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso

Ref.	Designação	Ilha	Tipo	Sistema Aquífero	Tipo de aquífero
AM25	Água Férrea	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM26	Nascente da Ponte	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM27	Água da Helena	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM28	Valério I	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM29	Valério II	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM30	Valério III	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM31	Dr. Bruno	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM32	Sanguinhal	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM33	Serra do Trigo	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM34	Padre José	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM35	Caldeira Esguicho	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM36	Água Santa	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM37	Dr. Dinis	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM38	Tio José de Sousa	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM39	Caldeira dos Vimes	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM40	Caldeira dos Tambores	Smg	Fum	Furnas - Povoação	Suspenso
AM41	Ribeira Quente I	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM42	Ribeira Quente III	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM43	Ribeira Quente II	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM45	Água de Alcântara	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM46	Água Azeda da Povoação	Smg	Nasc	Furnas - Povoação	Suspenso
AM47	Porto Formoso I	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM48	Porto Formoso II	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso

Ref.	Designação	Ilha	Tipo	Sistema Aquífero	Tipo de aquífero
AM49	Porto Formoso III	Smg	Nasc	Água de Pau	Base
AM50	Porto Formoso IV	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM51	Ladeira Velha	Smg	Nasc	Água de Pau	Base
AM52	Ladeira Velha Férrea	Smg	Nasc	Água de Pau	Base
AM53	Ribeira das Gramas	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM54	Nascente do Pico Alto	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM55	Lombadas	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM56	Lombadas Furo I	Smg	Furo	Água de Pau	Suspenso
AM57	Lombadas Furo II	Smg	Furo	Água de Pau	Suspenso
AM58	Fumarola R.G.	Smg	Fum	Água de Pau	Suspenso
AM59	Caldeira Grande R.G.	Smg	Fum	Água de Pau	Suspenso
AM60	Caldeira Pequena R.G.	Smg	Fum	Água de Pau	Suspenso
AM61	Pocinha	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM62	Caldeira Velha Nasc.	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM63	Caldeira Velha Fum.	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM64	FC1_Vieira e Vieira	Smg	Furo	Água de Pau	Base
AM65	FC2_BEL Portugal	Smg	Furo	Água de Pau	Base
AM66	FC3_Agro - Vieiras	Smg	Furo	Água de Pau	Base
AM67	FC4_INSULAC	Smg	Furo	Água de Pau	Base
AM68	FC6_Monte dos Frades	Smg	Furo	Água de Pau	Base
AM69	Nascente da Magarça	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM70	Azeda dos Castelinhos	Smg	Nasc	Água de Pau	Suspenso
AM71	Ferraria II	Smg	Nasc	Sete Cidades	Base
AM72	Ferraria I	Smg	Poço	Sete Cidades	Base

Ref.	Designação	Ilha	Tipo	Sistema Aquífero	Tipo de aquífero
AM73	Ferraria III (AC2)	Smg	Furo	Sete Cidades	Base
AM74	Ferraria IV (AC3)	Smg	Furo	Sete Cidades	Base
AM75	Mosteiros	Smg	Nasc	Sete Cidades	Base
AM76	São Lázaro	Smg	Nasc	Sete Cidades	Base

**ANEXO IV – BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS
MAIORES E OUTROS CONSTITUINTES**

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	Temp. (°C)	pH	SDT (mg/L)	Cond. (µs/cm)	Alc. (mg/L)	CO2 L (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO3 (mg/L)	F (mg/L)	ERB (%)	Referências
AM1	Miguel Henriques	Smg	Nasc	21,1	5,27	814,00	410	99,00	545,20	105,70	56,00	25,00	9,60	2,56	46,00	22,70	120,80	n.d.	4	1a
AM2	Água de Prata	Smg	Nasc	34,4	5,33	619,00	365	130,50	364,20	114,90	45,00	20,00	11,00	3,06	41,00	19,90	159,20	n.d.	-9	1a
AM3	Caldeirão	Smg	Nasc	75,1	6,16	416,01	515	210,50	81,00	165,40	85,00	14,00	8,90	3,18	7,50	36,90	256,80	n.d.	-6	1a
AM4	Água Azeda	Smg	Nasc	15,9	5,09	840,14	301	75,50	617,40	109,10	33,00	20,00	8,20	3,72	18,00	20,90	92,10	n.d.	6	1a
AM5	Água Azeda de Rebentão	Smg	Nasc	15,6	4,95	697,26	306	61,00	469,00	103,60	34,00	18,00	11,00	3,29	33,00	19,50	74,40	n.d.	8	1a
AM6	Água do Rego	Smg	Nasc	16,2	4,99	767,88	210	59,00	534,00	103,80	37,00	20,00	11,00	3,27	32,00	24,50	72,00	n.d.	7	1a
AM7	Terra Nostra I	Smg	Nasc	41,3	5,57	738,69	522	186,00	420,40	116,40	72,00	14,00	11,00	5,51	13,00	59,30	226,90	n.d.	-9	1a
AM8	Terra Nostra II	Smg	Nasc	40,4	5,58	728,47	519	187,00	427,20	100,80	74,00	13,00	9,50	4,80	11,00	65,30	228,10	n.d.	-11	1a
AM9	Caldeira Grande	Smg	Fum	99,5	7,71	1274,00	2010	632,00	36,00	352,20	490,00	20,00	1,40	0,04	63,00	297,10	771,00	n.d.	-1	1a
AM10	Caldeira Asmodeu	Smg	Fum	98,8	7,06	1655,00	2350	557,00	91,60	374,50	549,00	22,00	1,20	0,07	297,00	303,90	679,50	n.d.	-3	1a
AM11	Quenturas I	Smg	Nasc	59,5	6,21	953,01	1356	639,00	209,20	250,40	253,00	42,00	28,00	13,80	16,00	76,30	779,60	n.d.	-2	1a
AM12	Quenturas III	Smg	Nasc	59,3	6,24	939,75	1271	629,00	191,00	252,50	249,00	43,00	30,00	13,30	18,00	76,30	767,40	n.d.	-2	1a
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	Smg	Fum	98,5	5,76	709,00	715	10,50	62,80	250,40	120,00	19,00	10,00	2,51	223,00	23,80	12,80	n.d.	7	1a
AM14	Glória Patri	Smg	Nasc	17,5	6,77	159,11	190	66,00	8,20	62,30	24,00	21,00	4,50	4,42	6,20	18,50	80,50	n.d.	4	1a
AM15	Torno	Smg	Nasc	41,3	6,02	1117,26	1459	645,00	406,10	170,80	293,00	29,00	28,00	13,60	14,00	91,90	786,90	n.d.	2	1a
AM16	Grutinha II	Smg	Nasc	42,7	6,00	1250,13	1490	729,00	514,00	184,90	299,00	32,00	30,00	13,50	19,00	88,80	889,40	n.d.	-2	1a
AM17	Grutinha I	Smg	Nasc	42,5	6,00	1305,46	1552	709,00	549,20	184,70	304,00	35,00	34,00	14,60	16,00	90,10	865,00	n.d.	0	1a
AM18	Água da Poça	Smg	Nasc	47,0	6,14	1250,75	1528	764,00	476,00	191,50	288,00	37,00	40,00	16,40	9,70	96,60	932,10	n.d.	-4	1a
AM19	Morangueira	Smg	Nasc	41,2	6,25	1258,83	1680	895,00	432,20	199,70	312,00	42,00	43,00	17,90	12,00	100,80	1091,00	n.d.	-7	1a
AM20	Banhos dos Cabaços	Smg	Nasc	39,0	5,85	414,03	587	203,00	n.d.	175,00	83,70	20,90	20,30	5,10	10,50	57,20	247,70	0,90	0	10
AM21	Banhos Férreos I - Balneário	Smg	Nasc	34,90	6,14	1551,28	1759	952,00	692,20	175,27	298,00	47,00	57,00	37,00	7,00	66,74	1161,44	n.d.	-2	1b
AM22	Banhos Férreos I - Emergência	Smg	Nasc	39,0	6,00	826,23	1530	885,00	n.d.	159,00	296,00	46,00	54,00	35,00	8,80	62,00	1080,00	2,60	0	5e
AM23	Banhos Férreos II	Smg	Nasc	32,90	6,02	1387,53	1525	884,00	560,80	168,42	284,00	44,00	58,00	33,00	14,00	67,10	1078,48	n.d.	-2	1b
AM24	Banhos Férreos III	Smg	Nasc	37,90	6,18	382,00	1341	525,00	335,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	47,92	640,00	n.d.	-100	1b
AM25	Água Férrea	Smg	Nasc	52,30	6,06	1176,80	1441	640,00	372,20	250,38	295,00	49,00	33,00	15,40	9,90	73,84	780,80	n.d.	6	1b
AM26	Nascente da Ponte	Smg	Nasc	95,80	6,88	641,20	846	398	72,2	254,66	175	40,00	12,8	2,14	56,00	26,98	485,56	n.d.	-1,4	1b
AM27	Água da Helena	Smg	Nasc	15,40	4,69	981,00	192	24,50	831,00	64,63	22,90	8,65	5,50	4,67	2,30	16,33	29,89	n.d.	29	1b

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	Temp. (°C)	pH	SDT (mg/L)	Cond. (µs/cm)	Alc. (mg/L)	CO2 L (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO3 (mg/L)	F (mg/L)	ERB (%)	Referências
AM28	Valério I	Smg	Nasc	26,50	5,85	410,46	538	203,00	82,00	121,98	81,00	22,00	14,10	8,98	10,00	38,34	247,66	n.d.	1	1b
AM29	Valério II	Smg	Nasc	25,90	5,80	621,40	716	310,00	206,00	124,76	123,00	30,00	20,00	13,80	9,10	40,83	378,20	n.d.	4	1b
AM31	Dr. Bruno	Smg	Nasc	20,4	5,78	669,15	520	208,00	359,20	97,80	74,00	19,00	22,00	9,04	8,90	31,20	253,80	n.d.	3	1a
AM32	Sanguinhal	Smg	Nasc	37,5	5,61	842,01	572	241,00	491,80	159,00	95,00	30,00	8,50	3,90	7,10	33,40	294,00	n.d.	-3	1a
AM33	Serra do Trigo	Smg	Nasc	17,5	4,90	681,56	187	65,00	487,00	95,20	23,00	8,20	11,00	5,69	2,40	23,10	79,30	n.d.	4	1a
AM34	Padre José	Smg	Nasc	55,4	5,91	747,00	789	309,00	192,10	254,70	144,00	34,00	15,00	5,41	63,00	35,50	377,00	n.d.	0	1a
AM35	Caldeira Esguicho	Smg	Fum	98,0	7,29	1146,00	1785	579,00	89,20	323,20	399,00	34,00	2,20	1,37	64,00	219,00	706,40	n.d.	-2	1a
AM36	Água Santa	Smg	Nasc	95,5	7,44	733,00	994	341,00	35,00	283,60	266,00	19,00	6,10	0,98	21,00	96,60	416,00	n.d.	11	1a
AM37	Dr. Diniz	Smg	Nasc	16,1	5,28	1353,02	308	64,00	1126,20	111,50	37,00	18,00	7,80	3,41	27,00	19,90	78,10	n.d.	8	1a
AM38	Tio José de Sousa	Smg	Nasc	16,0	4,89	1196,00	356	59,00	948,20	111,70	52,00	21,00	6,30	2,14	33,00	23,40	72,00	n.d.	13	1a
AM39	Caldeira dos Vimes	Smg	Fum	70,0	5,37	539,00	301	73,00	307,80	105,50	45,00	17,00	6,60	3,06	31,00	22,70	89,10	n.d.	6	1a
AM40	Caldeira dos Tambores	Smg	Fum	94,3	2,80	1470,00	2150	n.d.	148,40	n.d.	325,00	89,00	27,00	5,00	733,00	110,00	n.d.	n.d.	1	14
AM41	Ribeira Quente I	Smg	Nasc	23,40	5,48	1523,76	906	276,00	913,60	135,03	80,00	12,50	77,00	17,90	92,00	80,94	336,72	n.d.	0	1b
AM42	Ribeira Quente II	Smg	Nasc	32,80	7,58	801,01	1339	396,00	9,80	164,35	211,00	24,00	55,00	15,50	71,00	177,15	483,12	n.d.	-2	1b
AM43	Ribeira Quente III	Smg	Nasc	45,90	6,46	895,00	1239	491,00	140,40	170,56	206,00	27,00	57,00	15,40	63,00	133,83	599,02	n.d.	-4	1b
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	Smg	Nasc	18,60	5,71	1455,52	1167	561,00	877,60	107,43	217,00	35,00	35,00	16,40	15,00	70,65	684,42	n.d.	0	1b
AM45	Água de Alcântara	Smg	Nasc	17,90	5,30	979,26	377	139,50	725,40	92,45	34,00	13,00	16,70	14,50	2,10	26,63	170,19	n.d.	3	1b
AM46	Água Azeda da Povoação	Smg	Nasc	15,00	4,87	949,91	139	55,00	787,00	42,00	44,00	4,60	8,80	10,00	6,20	16,68	67,10	n.d.	32	1b
AM47	Porto Formoso I	Smg	Nasc	17,4	5,20	747,17	326	54,00	522,40	87,10	45,00	8,50	5,60	6,18	13,00	47,20	65,90	n.d.	4	1a
AM48	Porto Formoso II	Smg	Nasc	18,10	4,66	1010,18	184	19,00	867,20	65,91	23,60	6,40	4,10	2,53	6,00	30,18	23,18	n.d.	6	1b
AM49	Porto Formoso III	Smg	Nasc	15,20	4,99	519,80	158	22,50	400,00	51,57	20,50	5,48	4,00	2,37	5,70	25,92	27,45	n.d.	4	1b
AM50	Porto Formoso IV	Smg	Nasc	18,60	4,61	831,30	179	18,00	693,20	68,27	23,90	6,80	3,60	2,56	5,60	25,20	21,96	n.d.	12	1b
AM51	Ladeira Velha	Smg	Nasc	30,0	5,03	473,22	295	91,00	200,20	145,70	45,00	11,00	9,50	4,75	5,60	32,00	111,00	n.d.	4	1a
AM52	Ladeira Velha Férrea	Smg	Nasc	34,70	5,12	1077,06	459	145,00	774,60	125,83	63,00	12,70	11,10	5,50	6,00	53,30	176,90	n.d.	-5	1b
AM53	Ribeira das Gramas	Smg	Nasc	19,40	4,80	1069,93	194	19,00	933,20	58,85	24,60	6,92	3,70	2,81	4,60	33,02	23,18	n.d.	4	1b
AM54	Nascente do Pico Alto	Smg	Nasc	70,30	5,98	386,04	360	72,50	90,00	167,99	37,00	23,00	8,90	2,66	19,50	35,14	88,45	n.d.	-1	1b
AM55	Lombadas	Smg	Nasc	16,5	5,09	1367,37	330	226,00	1126,20	119,00	49,00	19,00	5,90	4,04	24,00	18,50	275,70	n.d.	-26	1a

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	Temp. (°C)	pH	SDT (mg/L)	Cond. (µs/cm)	Alc. (mg/L)	CO2 L (mg/L)	SiO2 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	SO4 (mg/L)	Cl (mg/L)	HCO3 (mg/L)	F (mg/L)	ERB (%)	Referências
AM56	Lombadas Furo I	Smg	Furo	22,5	5,27	1292,12	537	229,00	966,60	134,40	82,00	37,00	10,80	7,11	5,00	18,80	279,40	n.d.	5	1a
AM57	Lombadas Furo II	Smg	Furo	20,30	5,48	795,90	575	285,00	483,20	113,21	89,00	40,00	12,30	6,45	3,40	17,80	347,70	n.d.	-1	1b
AM58	Fumarola R.G.	Smg	Fum	77,9	2,23	3967,00	3030	n.d.	828,40	308,20	50,00	27,00	470,00	9,89	2000,00	230,70	n.d.	n.d.	-27	1a
AM59	Caldeira Grande R.G.	Smg	Fum	40,0	3,53	354,00	290	n.d.	126,20	78,10	67,00	6,70	2,50	1,90	54,00	20,60	n.d.	n.d.	32	1a
AM60	Caldeira Pequena R.G.	Smg	Fum	49,40	2,20	872,00	665	n.d.	438,20	176,34	26,80	15,40	12,20	3,18	174,00	21,66	n.d.	n.d.	-25	1b
AM61	Pocinha	Smg	Nasc	28,8	4,66	1041,00	264	24,00	748,80	110,60	78,00	15,00	4,60	3,50	56,00	23,80	29,30	n.d.	31	1a
AM62	Caldeira Velha Nasc.	Smg	Nasc	36,2	4,28	544,00	182	23,00	399,10	57,60	21,00	4,90	3,90	3,02	31,00	20,90	28,10	n.d.	-1	1a
AM63	Caldeira Velha Fum.	Smg	Fum	93,70	2,23	2399,00	1684	n.d.	549,20	350,96	37,00	26,00	17,30	6,30	1330,00	24,85	n.d.	n.d.	-73	1b
AM64	FC1_Vieira e Vieira	Smg	Furo	31,10	6,36	1395,38	2090	296,00	208,80	135,25	349,00	48,00	20,00	38,00	71,00	446,90	361,12	n.d.	1	1b
AM65	FC2_BEL Portugal	Smg	Furo	40,0	5,9 ¹	3796,00	10800	304,10	n.d.	136,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3660,00	371,00	n.d.	n.d.	5a
AM66	FC3_Agro Vieiras	Smg	Furo	17,00	6,15	400,16	403	72,00	121,20	135,03	48,00	20,00	8,20	6,26	9,80	32,31	87,84	n.d.	16	1b
AM67	FC4_INSULAC	Smg	Furo	27,50	5,60	728,77	590	188,00	315,60	153,87	59,00	36,00	20,00	17,00	5,70	55,38	229,36	n.d.	4	1b
AM68	FC6_Monte dos Frades	Smg	Furo	26,00	5,27	949,12	394	96,50	610,80	159,64	44,00	26,00	12,20	7,92	13,30	51,50	117,73	n.d.	2	1b
AM69	Nascente da Magarça	Smg	Nasc	18,50	4,65	1061,00	326	15,00	837,00	78,11	41,00	11,10	6,50	4,15	6,70	60,40	18,30	n.d.	12	1b
AM70	Azeda dos Castelinhos	Smg	Nasc	n.d.	n.d.	196,00	n.d.	n.d.	n.d.	81,60	43,30	1,93	5,20	3,90	62,10	n.d.	67,10	n.d.	1	6
AM71	Ferraria II	Smg	Nasc	67,70	5,97	85440,00	4220	454,00	382,00	192,60	1000,00	568,00	500,00	956,00	1814,00	4009,40	553,90	n.d.	1	1b
AM72	Ferraria I	Smg	Poço	62,5	n.d.	20956,50	n.d.	479,67	n.d.	107,60	6676,70	n.d.	508,33	478,04	1305,60	11296,94	585,20	n.d.	0	8
AM73	Ferraria III (AC2)	Smg	Furo	58,0	6,1 ²	19298,92	27000	498,40	n.d.	143,00	5700,00	339,00	310,00	572,00	1120,00	10500,00	608,00	0,70	-2	5b
AM74	Ferraria IV (AC3)	Smg	Furo	57,0	6,2 ³	19671,92	28000	505,70	n.d.	143,00	5900,00	357,00	317,00	582,00	1118,00	10630,00	617,00	0,70	-1	5c
AM75	Mosteiros	Smg	Nasc	43,00	5,78	14076,30	20200	489,00	338,20	128,40	3870,00	205,00	240,00	440,00	797,00	7455,00	596,58	n.d.	-3	1b
AM76	São Lázaro	Smg	Nasc	32,80	6,36	7954,30	20140	499,00	314,40	128,40	2070,00	107,00	140,00	221,00	352,00	4011,50	608,78	n.d.	-5	1b

Referências Bibliográficas:

1a – Projecto HIDROVULC (2005); 1b – Projecto HIDROVULC (2006); 5a – Cabral, M. (1999); 5b – Cabral, M. (2002); 5c – Cabral, M. (2002); 5e – Cabral, M. (2003); 6 – Lepierre (1939); 8 – Accioaiuoli (1940). Autor da análise: Charles Lepierre em 1932; 10 – Herculano, A.C. (1955). Autor da análise: Herculano de Carvalho em 1953; 14 – Terroso, D.L.F. (2005).

¹ Determinado em laboratório a 20°C de temperatura

² Determinado em laboratório a 22°C de temperatura

³ Determinado em laboratório a 21°C de temperatura

**ANEXO V – BASE DE DADOS HIDROGEOQUÍMICA: ELEMENTOS
MENORES E EM TRAÇO**

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	B (µg/L)	Al (µg/L)	Fe (µg/L)	Li (µg/L)	Mn (µg/L)	Sr (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	As (µg/L)	Hg (µg/L)	Cu (µg/L)	Cd (µg/L)	Br (µg/L)	Referências
AM1	Miguel Henriques	Smg	Nasc	23,00	567,00	4210,00	14,00	720,00	25,20	0,12	20,10	<0,5	5,10	1,86	<0,2	<0,2	0,03	77,00	1a
AM2	Água de Prata	Smg	Nasc	22,00	593,00	2200,00	12,00	867,00	25,30	0,19	10,00	<0,5	7,30	0,91	<0,2	0,20	0,02	71,00	1a
AM3	Caldeirão	Smg	Nasc	1110,00	129,00	1090,00	40,00	790,00	23,90	1,05	11,00	<0,5	0,90	52,80	<0,2	1,80	0,01	111,00	1a
AM4	Água Azeda	Smg	Nasc	22,00	705,00	4350,00	5,00	565,00	23,90	0,83	26,90	<0,5	1,30	0,80	<0,2	1,10	0,08	65,00	1a
AM5	Água Azeda de Rebentão	Smg	Nasc	18,00	739,00	4160,00	6,00	511,00	21,90	0,20	22,90	<0,5	2,20	1,45	<0,2	0,80	0,03	61,00	1a
AM6	Água do Rego	Smg	Nasc	26,00	732,00	320,00	6,00	666,00	20,00	2,24	45,50	<0,5	3,60	0,13	<0,2	1,00	0,13	92,00	1a
AM7	Terra Nostra I	Smg	Nasc	177,00	23,00	8570,00	29,00	812,00	36,20	0,18	12,70	<0,5	1,50	35,70	<0,2	0,70	0,03	185,00	1a
AM8	Terra Nostra II	Smg	Nasc	201,00	15,00	9310,00	33,00	730,00	32,00	0,20	5,30	<0,5	1,40	45,20	<0,2	<0,2	0,02	202,00	1a
AM9	Caldeira Grande	Smg	Fum	15500,00	132,00	20,00	249,00	19,50	22,70	0,13	1,50	<0,5	37,70	>200	<0,2	11,00	0,03	765,00	1a
AM10	Caldeira Asmodeu	Smg	Fum	18400,00	208,00	20,00	368,00	25,00	18,80	0,12	2,80	<0,5	145,00	>200	<0,2	21,60	0,03	804,00	1a
AM11	Quenturas I	Smg	Nasc	1090,00	15,00	1780,00	178,00	446,00	70,20	0,35	6,90	<0,5	28,80	18,60	<0,2	7,60	0,07	263,00	1a
AM12	Quenturas III	Smg	Nasc	1050,00	8,00	1790,00	171,00	436,00	64,80	0,08	2,00	<0,5	14,30	18,00	<0,2	5,70	0,01	269,00	1a
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	Smg	Fum	520,00	189,00	80,00	74,00	222,00	57,00	0,27	7,30	<0,5	40,10	4,55	<0,2	2,50	0,05	99,00	1a
AM14	Glória Patri	Smg	Nasc	47,00	10,00	30,00	2,00	0,90	22,70	1,11	10,40	<0,5	0,50	0,88	<0,2	0,90	0,02	83,00	1a
AM15	Torno	Smg	Nasc	492,00	119,00	7290,00	254,00	1070,00	61,60	0,16	6,70	<0,5	5,60	65,40	<0,2	6,80	0,05	320,00	1a
AM16	Grutinha II	Smg	Nasc	576,00	114,00	6740,00	249,00	963,00	72,20	0,10	3,20	<0,5	16,60	68,50	<0,2	6,90	0,06	292,00	1a
AM17	Grutinha I	Smg	Nasc	547,00	84,00	4770,00	254,00	766,00	77,40	0,91	8,90	<0,5	13,40	64,50	<0,2	7,00	0,07	294,00	1a
AM18	Água da Poça	Smg	Nasc	546,00	39,00	4060,00	26,00	633,00	91,30	0,09	3,60	<0,5	7,20	56,80	<0,2	5,40	0,02	325,00	1a
AM19	Morangueira	Smg	Nasc	581,00	14,00	3830,00	319,00	594,00	101,00	0,09	3,70	<0,5	4,00	65,40	<0,2	6,40	0,02	332,00	1a
AM20	Banhos dos Cabaços	Smg	Nasc	n.d.	9,50	7800,00	n.d.	1820,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	181,00	n.d.	n.d.	10
AM21	Banhos Férreos I - Balneário	Smg	Nasc	361,00	16,00	370,00	243,00	581,00	116,00	0,36	43,90	<0,5	2,40	12,30	<0,2	12,60	1,54	214,00	1b
AM22	Banhos Férreos I - Emergência	Smg	Nasc	n.d.	n.d.	2600,00	180,00	620,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n	13,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	5e
AM23	Banhos Férreos II	Smg	Nasc	337,00	19,00	650,00	218,00	35,10	104,00	0,11	13,60	<0,5	2,60	10,40	<0,2	15,60	0,07	220,00	1b
AM24	Banhos Férreos III	Smg	Nasc	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.	1b
AM25	Água Férrea	Smg	Nasc	978,00	12,00	50,00	265,00	350,00	81,30	0,11	14,70	<0,5	1,80	12,30	<0,2	3,70	0,05	241,00	1b
AM26	Nascente da Ponte	Smg	Nasc	376	91	450	123	645	26,6	0,12	8,6	<0,5	7,9	0,16	<0,2	1,9	0,02	75,00	1b

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	B (µg/L)	Al (µg/L)	Fe (µg/L)	Li (µg/L)	Mn (µg/L)	Sr (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	As (µg/L)	Hg (µg/L)	Cu (µg/L)	Cd (µg/L)	Br (µg/L)	Referências
AM27	Água da Helena	Smg	Nasc	18,00	163,00	30,00	3,00	23,90	18,50	0,43	23,10	<0,5	2,00	1,91	<0,2	5,80	0,05	47,00	1b
AM28	Valério I	Smg	Nasc	118,00	32,00	40,00	52,00	11,00	50,40	0,18	24,20	<0,5	1,10	5,68	<0,2	1,70	0,03	108,00	1b
AM29	Valério II	Smg	Nasc	140,00	31,00	40,00	63,00	8,40	73,90	0,09	23,20	<0,5	1,10	5,61	<0,2	1,30	0,05	117,00	1b
AM31	Dr. Bruno	Smg	Nasc	105,00	36,00	30,00	33,00	12,90	41,10	0,49	16,90	<0,5	0,80	2,28	<0,2	0,90	0,05	98,00	1a
AM32	Sanguinhal	Smg	Nasc	116,00	46,00	1890,00	49,00	746,00	22,80	0,33	8,60	<0,5	1,50	2,14	<0,2	9,20	0,02	124,00	1a
AM33	Serra do Trigo	Smg	Nasc	34,00	411,00	20,00	4,00	161,00	89,50	11,90	30,70	<0,5	1,10	0,29	<0,2	0,80	0,08	89,50	1a
AM34	Padre José	Smg	Nasc	425,00	12,00	4010,00	87,00	1700,00	28,50	0,11	5,20	<0,5	5,30	2,00	<0,2	1,60	0,07	134,00	1a
AM35	Caldeira Esguicho	Smg	Fum	15300,00	140,00	60,00	328,00	43,80	6,31	0,36	13,60	<0,5	14,80	>200	<0,2	10,40	0,05	654,00	1a
AM36	Água Santa	Smg	Nasc	7260,00	76,00	20,00	167,00	99,70	14,20	0,21	18,70	<0,5	3,30	>200	<0,2	4,10	0,03	310,00	1a
AM37	Dr. Dinis	Smg	Nasc	89,00	826,00	4940,00	11,00	636,00	2,30	0,09	26,20	<0,5	2,70	1,46	<0,2	<0,2	0,01	66,00	1a
AM38	Tio José de Sousa	Smg	Nasc	108,00	689,00	20,00	10,00	699,00	17,50	0,27	62,60	<0,5	5,70	0,23	<0,2	<0,2	0,12	84,00	1a
AM39	Caldeira dos Vimes	Smg	Fum	61,00	524,00	3610,00	8,00	629,00	20,60	0,08	12,20	<0,5	3,10	2,72	<0,2	0,30	0,01	71,00	1a
AM40	Caldeira dos Tambores	Smg	Fum	7601,00	6029,00	17452,00	113,00	3975,00	n.d.	n.d.	224,00	n.d.	n.d.	268,00	n.d.	n.d.	n.d.	256,00	14
AM41	Ribeira Quente I	Smg	Nasc	91,00	90,00	16000,00	73,00	2560,00	>200	0,06	60,20	<0,5	11,50	2,19	<0,2	1,00	0,13	252,00	1b
AM42	Ribeira Quente II	Smg	Nasc	338,00	10,00	800,00	170,00	888,00	>200	0,22	10,00	<0,5	6,80	5,01	<0,2	3,20	0,04	642,00	1b
AM43	Ribeira Quente III	Smg	Nasc	223,00	17,00	780,00	129,00	1310,00	>200	0,38	15,80	<0,5	3,80	3,78	<0,2	5,70	0,06	463,00	1b
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	Smg	Nasc	102,00	1020,00	30,00	48,00	880,00	182,00	0,18	18,20	<0,5	8,60	2,30	<0,2	4,60	0,20	204,00	1b
AM45	Água de Alcântara	Smg	Nasc	31,00	127,00	70,00	25,00	206,00	104,00	0,65	13,10	<0,5	0,80	1,64	<0,2	8,90	0,09	55,00	1b
AM46	Água Azeda da Povoação	Smg	Nasc	n.d.	22,00	30,00	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1b
AM47	Porto Formoso I	Smg	Nasc	38,00	322,00	20,00	12,00	467,00	56,60	0,47	87,70	<0,5	2,80	0,05	<0,2	0,20	0,25	165,00	1a
AM48	Porto Formoso II	Smg	Nasc	16,00	290,00	10,00	4,00	199,00	25,00	0,26	91,20	<0,5	0,90	0,42	<0,2	1,10	0,16	69,00	1b
AM49	Porto Formoso III	Smg	Nasc	15,00	239,00	0,00	2,00	241,00	19,60	0,50	109,00	<0,5	0,90	0,25	<0,2	1,00	0,13	58,00	1b
AM50	Porto Formoso IV	Smg	Nasc	16,00	309,00	20,00	5,00	215,00	25,20	0,34	31,90	<0,5	0,60	0,46	<0,2	0,70	0,16	64,00	1b
AM51	Ladeira Velha	Smg	Nasc	38,00	560,00	30,00	35,00	2520,00	58,30	0,86	121,00	<0,5	2,50	2,64	<0,2	1,10	0,31	85,00	1a
AM52	Ladeira Velha Férrea	Smg	Nasc	152,00	535,00	30,00	55,00	3650,00	136,00	0,21	190,00	<0,5	2,60	0,30	<0,2	1,80	0,30	158,00	1b
AM53	Ribeira das Gramas	Smg	Nasc	16,00	168,00	0,00	2,00	85,00	18,50	0,07	12,80	<0,5	0,90	0,21	<0,2	0,40	0,03	73,00	1b
AM54	Nascente do Pico Alto	Smg	Nasc	18,00	54,00	100,00	12,00	888,00	32,70	0,07	12,30	<0,5	2,60	0,11	<0,2	0,90	0,04	114,00	1b

Ref.	Local de Recolha	Ilha	Tipo	B (µg/L)	Al (µg/L)	Fe (µg/L)	Li (µg/L)	Mn (µg/L)	Sr (µg/L)	Pb (µg/L)	Zn (µg/L)	Cr (µg/L)	Ni (µg/L)	As (µg/L)	Hg (µg/L)	Cu (µg/L)	Cd (µg/L)	Br (µg/L)	Referências
AM55	Lombadas	Smg	Nasc	27,00	402,00	40,00	15,00	1460,00	30,10	0,12	52,50	<0,5	0,50	0,23	<0,2	<0,2	0,36	56,00	1a
AM56	Lombadas Furo I	Smg	Furo	42,00	413,00	1050,00	44,00	3790,00	54,40	0,06	130,00	<0,5	0,50	<0,03	<0,2	0,80	0,78	63,00	1a
AM57	Lombadas Furo II	Smg	Furo	35,00	461,00	10,00	45,00	2720,00	64,50	0,18	22,40	<0,5	0,50	0,23	<0,2	0,60	0,66	37,00	1b
AM58	Fumarola R.G.	Smg	Fum	13,00	36200,00	8300,00	19,00	1000,00	128,00	4,03	>250	12,20	28,80	5,34	<0,2	15,61	0,51	50,00	1a
AM59	Caldeira Grande R.G.	Smg	Fum	16,00	318,00	500,00	5,00	55,00	7,10	1,52	31,50	<0,5	4,50	0,33	<0,2	1,40	0,05	61,00	1a
AM60	Caldeira Pequena R.G.	Smg	Fum	19,00	2830,00	5100,00	5,00	262,00	19,60	7,15	69,80	<0,5	9,20	0,57	<0,2	4,60	0,27	41,00	1b
AM61	Pocinha	Smg	Nasc	26,00	183,00	4050,00	9,00	554,00	9,03	0,37	60,20	<0,5	6,10	0,31	<0,2	1,40	0,05	95,00	1a
AM62	Caldeira Velha Nasc.	Smg	Nasc	17,00	600,00	6700,00	6,00	667,00	7,20	0,22	27,40	<0,5	2,40	0,54	<0,2	0,20	0,03	57,00	1a
AM63	Caldeira Velha Fum.	Smg	Fum	11,00	36600,00	23000,00	20,00	1090,00	26,80	2,70	184,00	4,70	15,90	2,94	<0,2	13,20	0,27	<3	1b
AM64	FC1_Vieira e Vieira	Smg	Furo	246,00	10,00	170,00	34,00	463,00	>200	0,22	10,30	<0,5	9,40	203,00	<0,2	9,00	0,08	1550,00	1b
AM65	FC2_BEL Portugal	Smg	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.	5a
AM66	FC3_Agro Vieiras	Smg	Furo	29,00	66,00	50,00	9,00	2,50	35,80	0,36	19,90	3,40	1,00	0,89	<0,2	3,30	0,07	116,00	1b
AM67	FC4_INSULAC	Smg	Furo	31,00	61,00	80,00	14,00	109,00	150,00	1,87	43,50	1,70	1,20	0,49	<0,2	2,00	0,16	202,00	1b
AM68	FC6_Monte dos Frades	Smg	Furo	32,00	120,00	0,00	11,00	99,60	85,90	0,65	48,30	1,30	0,90	0,26	<0,2	10,80	0,11	150,00	1b
AM69	Nascente da Magarça	Smg	Nasc	48,00	296,00	70,00	6,00	351,00	28,40	0,22	54,00	<0,5	1,00	0,17	<0,2	0,60	0,14	211,00	1b
AM70	Azeda dos Castelinhos	Smg	Nasc	n.d.	n.d.	1410,00	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
AM71	Ferraria II	Smg	Nasc	6800,00	200,00	230,00	1300,00	3020,00	12300,00	4,00	80,00	< 50	240,00	0,21	<20	160,00	<1	57900,00	1b
AM72	Ferraria I	Smg	Poço	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.	8
AM73	Ferraria III (AC2)	Smg	Furo	4600,00	32,00	1000,00	780,00	2400,00	n.d.	15,00	60,00	3,00	12,00	175,00	n.d.	< 40	1,30	n.d.	5b
AM74	Ferraria IV (AC3)	Smg	Furo	4800,00	208,00	1900,00	820,00	3400,00	n.d.	17,00	50,00	2,30	15,00	177,00	n.d.	<40	0,70	n.d.	5c
AM75	Mosteiros	Smg	Nasc	3100,00	400,00	110,00	500,00	80,00	4270,00	7,00	570,00	<500	70,00	17,00	<200	<200	0,01	238,00	1b
AM76	São Lázaro	Smg	Nasc	1700,00	400,00	70,00	300,00	50,00	2200,00	10,00	420,00	<500	40,00	20,00	<200	30,00	0,01	97,00	1b

Referências Bibliográficas:

1a – Projecto HIDROVULC (2005); 1b – Projecto HIDROVULC (2006); 5a – Cabral, M. (1999); 5b – Cabral, M. (2002); 5c – Cabral, M. (2002); 5e – Cabral, M. (2003); 6 – Lepierre (1939); 8 – Accioaiuoli (1940). Autor da análise: Charles Lepierre em 1932; 10 – Herculano, A.C. (1955).
 Autor da análise: Herculano de Carvalho em 1953; 14 - Terroso, D.L.F. (2005).

ANEXO VI – DIAGRAMAS DE PIPER E DE SHOELLER

Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais no Sistema Aquífero Furnas-Povoação.

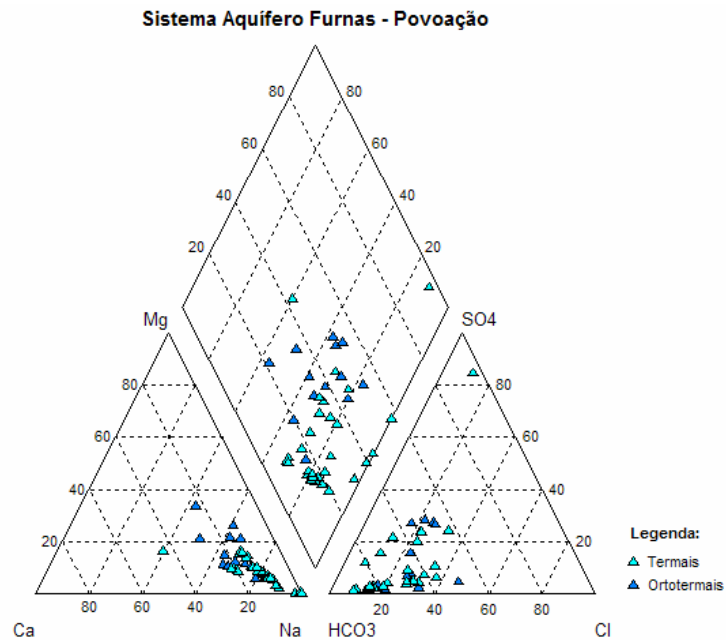


Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais no Sistema Aquífero Furnas-Povoação.

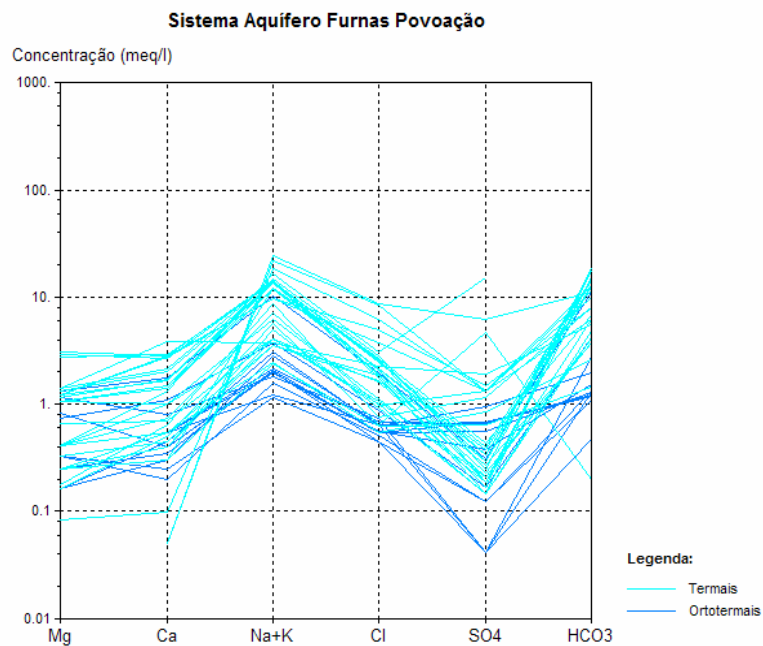


Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais no Sistema Aquífero Água de Pau.

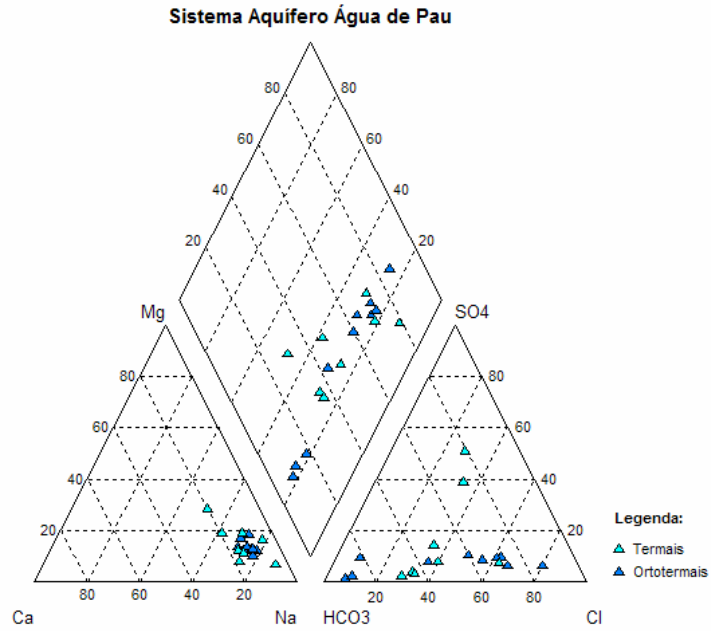


Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais no Sistema Aquífero Água de Pau.

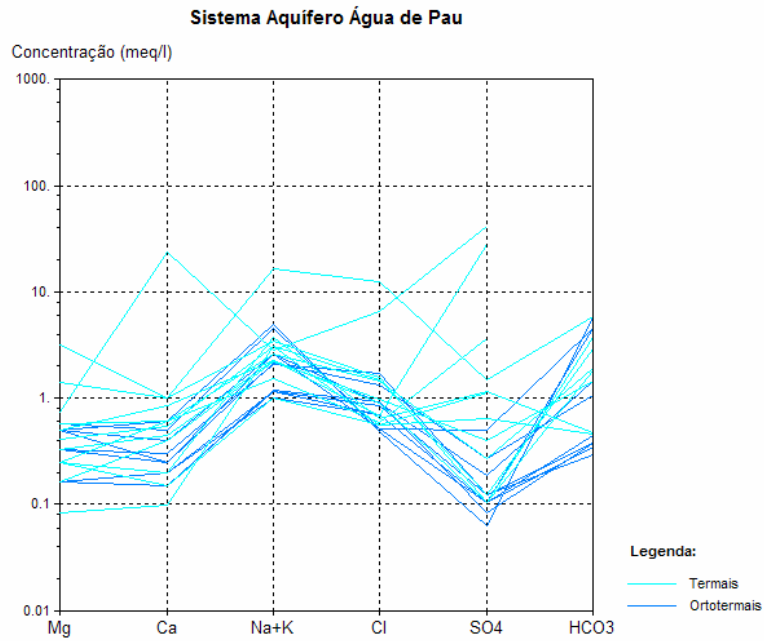


Diagrama de Piper relativo à composição química das águas minerais na ilha de São Miguel.

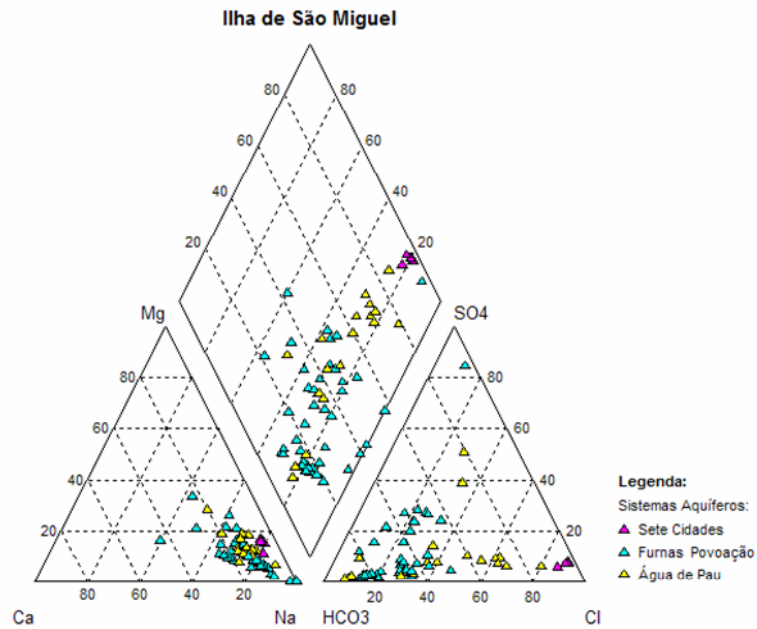
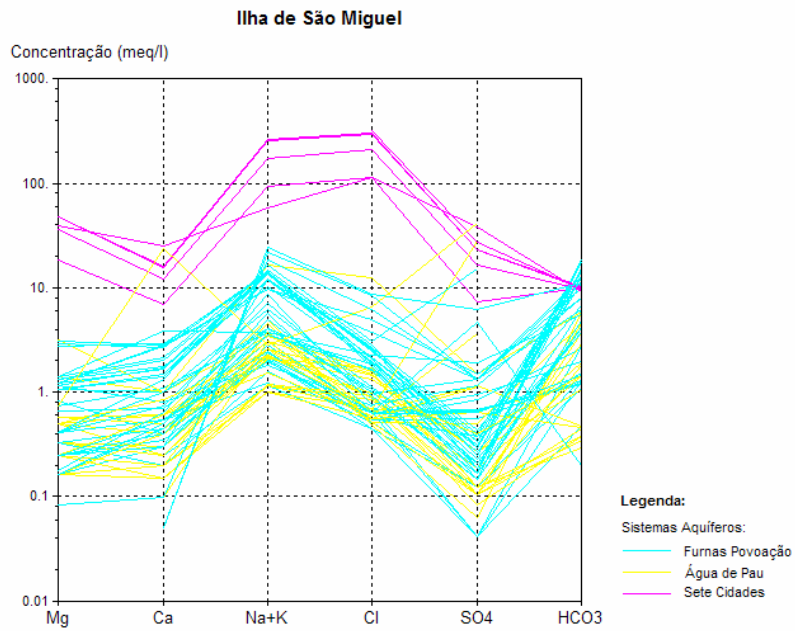


Diagrama de Schoeller relativo à composição química das águas minerais na ilha de São Miguel.



**ANEXO VII – ÍNDICES DE SATURAÇÃO RELATIVOS ÀS FASES
MINERAIS INVESTIGADAS PELO PROGRAMA HIDSPEC**

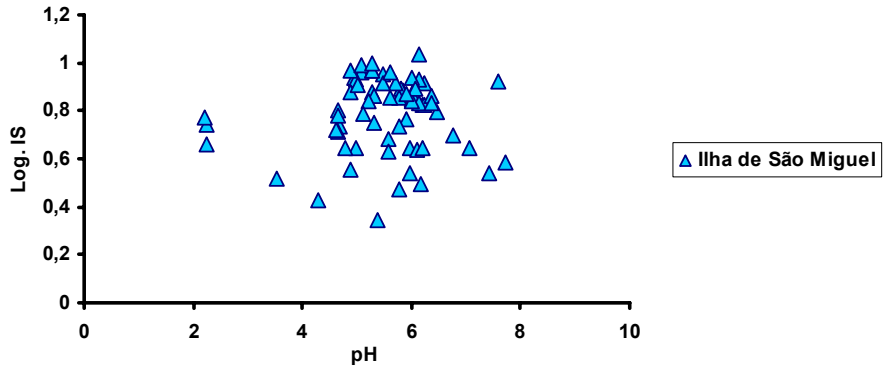
Ref.	Designação	Ilha	Designação do Mineral														
			Albite	Anortite	Calcedónia	Caulinite	Cristobalite	Dolomite	Ilite	Montmorilonite-Ca	Sílica Gel	Cálcite	Clinoestatite	Diópsido	Microclina	Montmorilonite-Mg	Quartzo
AM1	Miguel Henriques	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM2	Água de Prata	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM3	Caldeirão	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM4	Água Azeda	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM5	Água Azeda de Rebentão	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM6	Água do Rego	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM7	Terra Nostra I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM8	Terra Nostra II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM9	Caldeira Grande	Smg	ss	ns	ss	ns	ss	ns	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM10	Caldeira Asmodeu	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM11	Quenturas I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM12	Quenturas III	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ss
AM13	Caldeira da Lagoa Furnas	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM14	Glória Patri	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM15	Torno	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM16	Grutinha II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM17	Grutinha I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM18	Água da Poça	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM19	Morangueira	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM20	Banhos dos Cabaços	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM21	Banhos Férreos I - Balneário	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM22	Banhos Férreos I - Emergência	Smg	-	-	ss	-	ss	ns	-	-	ss	ns	ns	ns	-	-	ss
AM23	Banhos Férreos II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM24	Banhos Férreos III	Smg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM25	Água Férrica	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM26	Nascente da Ponte	Smg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Ref.	Designação	Ilha	Designação do Mineral														
			Albite	Anortite	Calcedónia	Caulinite	Cristobalite	Dolomite	Ilite	Montmorilonite-Ca	Sílica Gel	Cálcite	Clinoestatite	Diópsido	Microclina	Montmorilonite-Mg	Quartzo
AM27	Água da Helena	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ns	ns	-	ss	ss	ss
AM28	Valério I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM29	Valério II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM30	Valério III	Smg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM31	Dr. Bruno	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM32	Sanguinhal	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM33	Serra do Trigo	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM34	Padre José	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM35	Caldeira Esguicho	Smg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM36	Água Santa	Smg	ss	ns	ss	ns	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss
AM37	Dr. Dinis	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM38	Tio José de Sousa	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	-	ns	ss	ss	ss
AM39	Caldeira dos Vimes	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM40	Caldeira dos Tambores	Smg	-	-	-	-	-	ns	-	-	-	ns	-	-	-	-	-
AM41	Ribeira Quente I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM42	Ribeira Quente II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ss
AM43	Ribeira Quente III	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM44	Azeda da Ribeira do Fogo	Smg	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM45	Água de Alcântara	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM46	Água Azeda da Povoação	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM47	Porto Formoso I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM48	Porto Formoso II	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	-	ss	ss	ss
AM49	Porto Formoso III	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM50	Porto Formoso IV	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ss	ns	ns	-	ss	ss	ss
AM51	Ladeira Velha	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM52	Ladeira Velha Férrea	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss

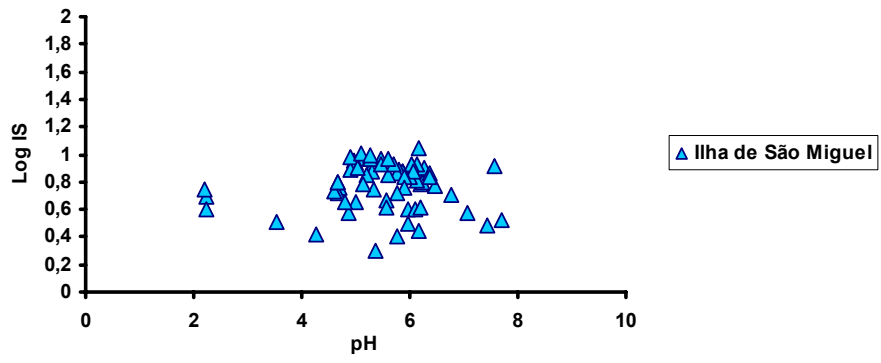
Ref.	Designação	Ilha	Designação do Mineral														
			Albite	Anortite	Calcedónia	Caulinite	Cristobalite	Dolomite	Ilite	Montmorilonite-Ca	Sílica Gel	Cálcite	Clinoestatite	Diópsido	Microclina	Montmorilonite-Mg	Quartzo
AM53	Ribeira das Gramas	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	-	ss	ss	ss
AM54	Nascente do Pico Alto	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM55	Lombadas	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM56	Lombadas Furo I	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM57	Lombadas Furo II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM58	Fumarola R.G.	Smg	-	-	ss	-	ss	ns	-	-	ss	ns	ns	-	-	-	-
AM59	Caldeira Grande R.G.	Smg	-	-	ss	-	ss	ns	-	-	ns	ns	ns	-	-	-	ss
AM60	Caldeira Pequena R.G.	Smg	-	-	ss	-	ss	ns	-	-	ss	ns	ns	-	-	-	ss
AM61	Pocinha/Caldeira da Ribeira Grande Férrea	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM62	Caldeira Velha Nasc.	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ss	ns	-	-	-	ss	ss	ss
AM63	Caldeira Velha Fum.	Smg	-	-	ss	-	ss	ss	-	-	ss	ns	ns	-	-	-	ss
AM64	FC1_Vieira e Vieira	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss
AM65	FC2_BEL Portugal	Smg	-	-	ss	-	ss	-	-	-	ss	-	-	-	-	-	ss
AM66	FC3_Agro Vieiras	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ss
AM67	FC4_INSULAC	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM68	FC6_Monte dos Frades	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM69	Nascente da Magarça	Smg	ns	ns	ss	ss	ss	ns	ss	ss	ss	ns	ns	-	ss	ss	ss
AM70	Azeda dos Castelinhos	Smg	-	-	-	-	-	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM71	Ferraria II	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	-	-	ss	ss	ns	-	-	ss	-	ss
AM72	Ferraria I	Smg	-	-	-	-	-	ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM73	Ferraria III (AC2)	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM74	Ferraria IV (AC3)	Smg	ss	ns	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ss	ns	ns	ns	ss	ss	ss
AM75	Mosteiros	Smg	ss	ss	ns	ss	ns	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ns
AM76	São Lázaro	Smg	ss	ss	ns	ss	ns	ns	ss	ss	ns	ns	ns	ns	ss	ss	ns

**ANEXO VIII – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA VARIAÇÃO DO
LOG(IS), RELATIVAMENTE ÀS QUINZE ESPÉCIES DE MINERAIS
INVESTIGADAS PELO PROGRAMA HIDSPEC, EM FUNÇÃO DO PH
DAS ÁGUAS MINERAIS PARA A ILHA DE SÃO MIGUEL**

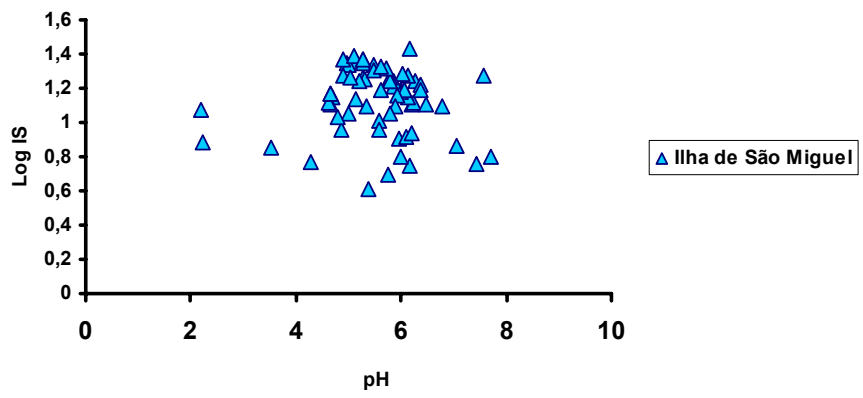
Calcedónia

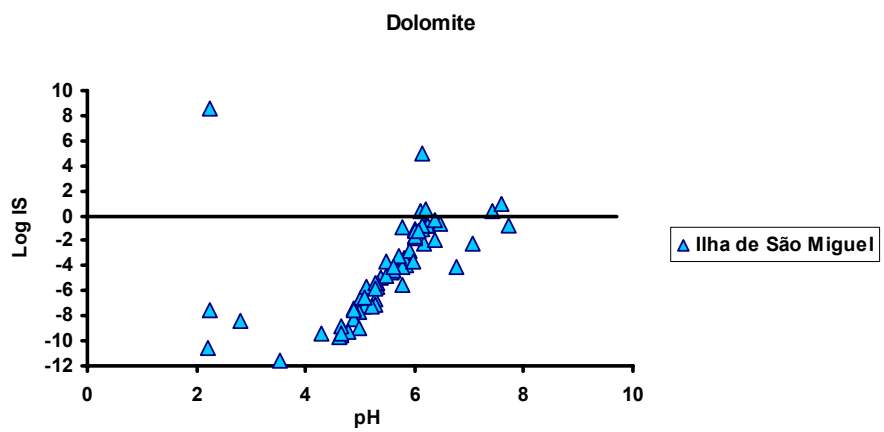
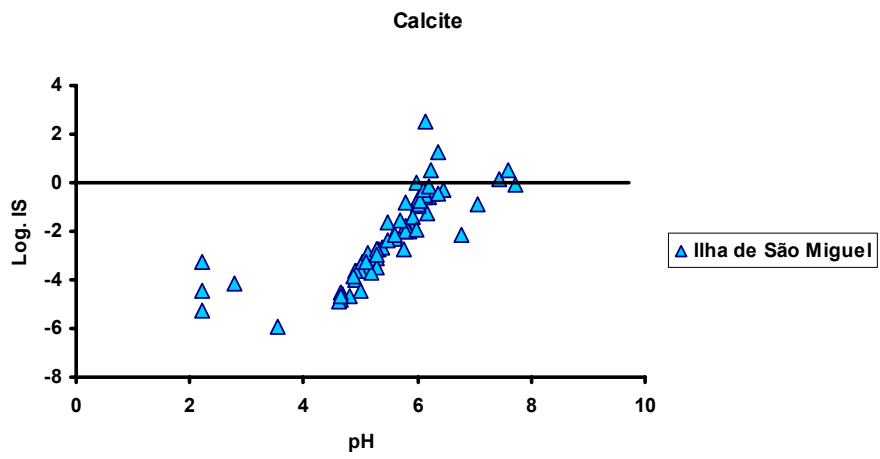
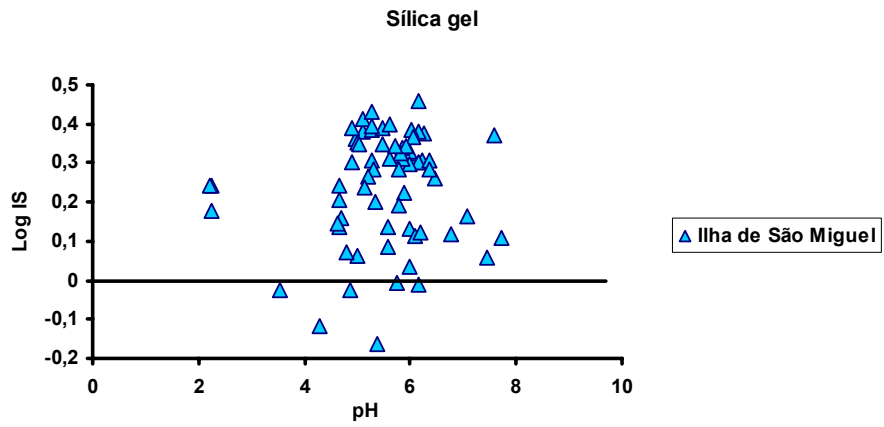


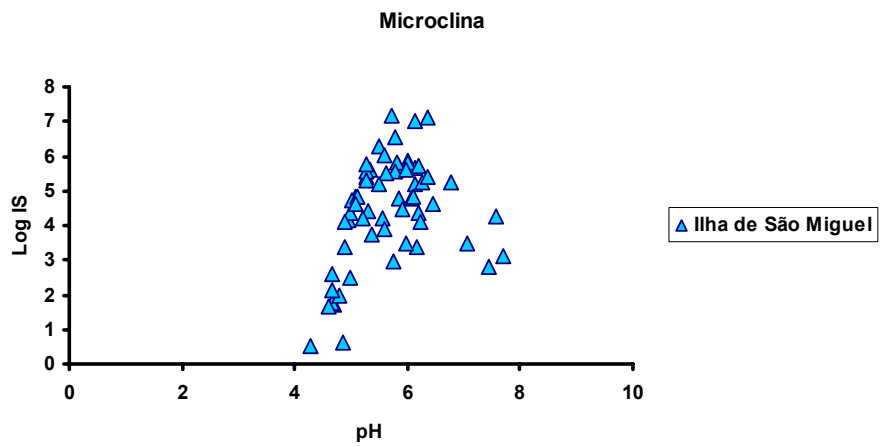
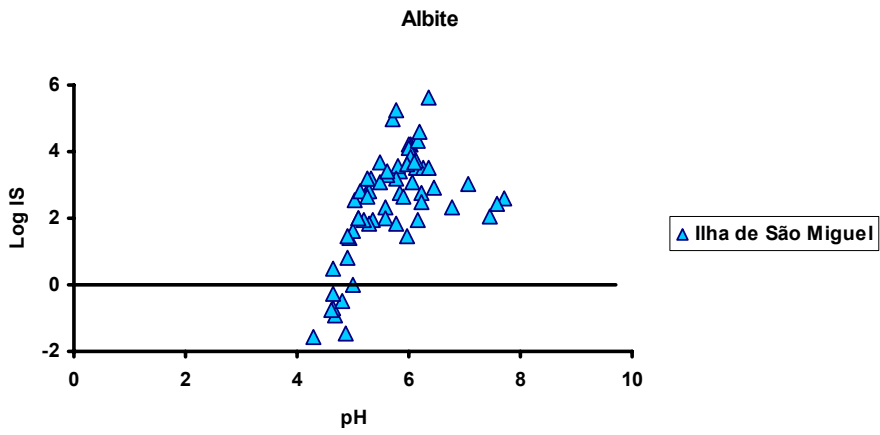
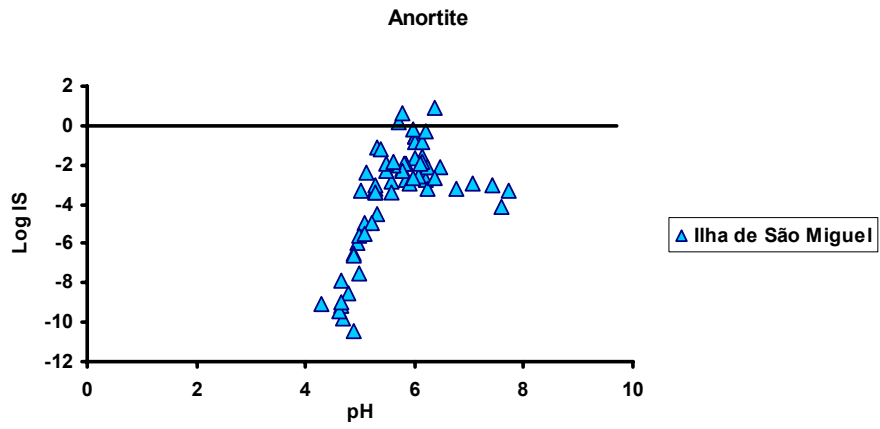
Cristobalite

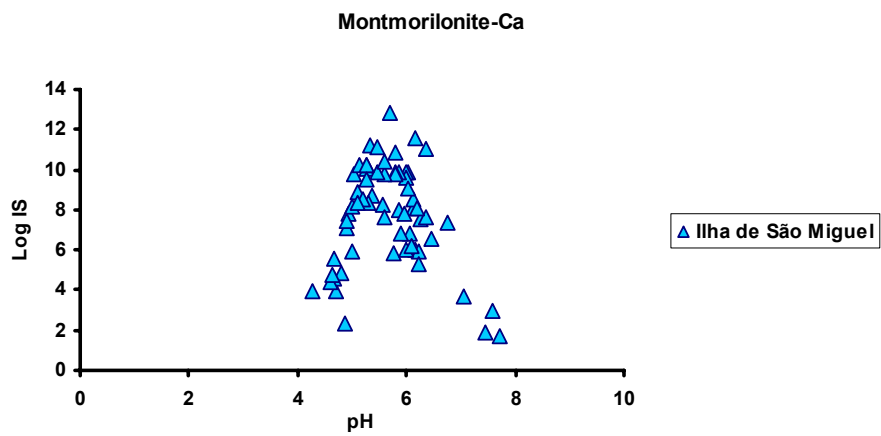
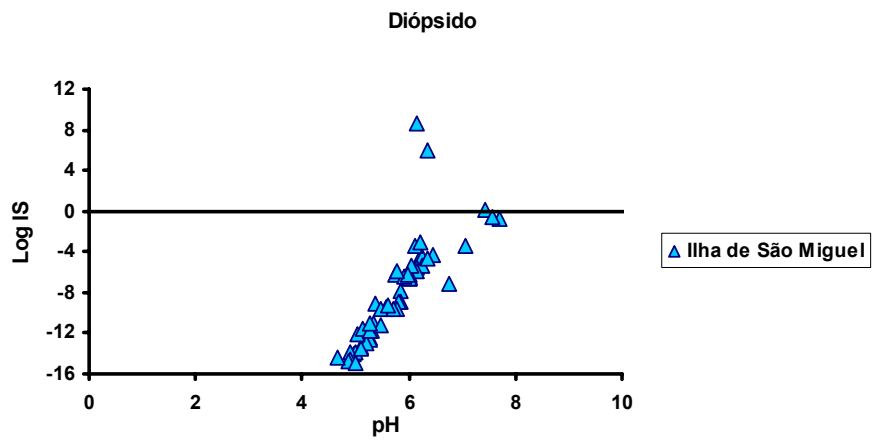
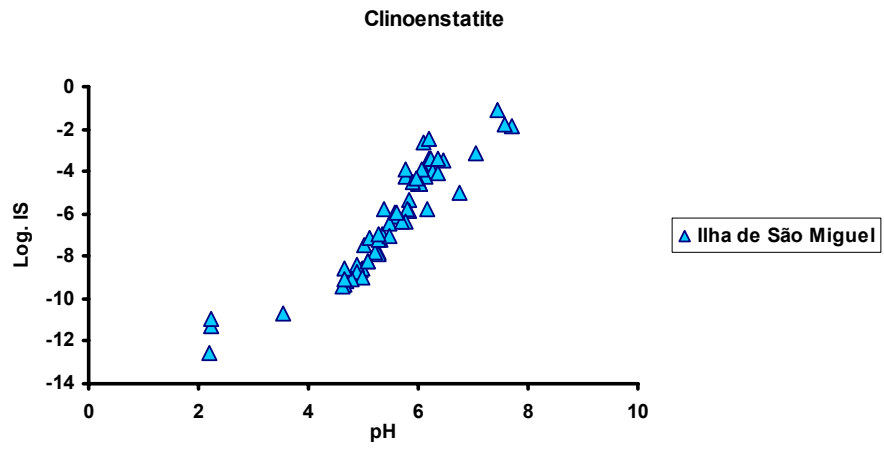


Quartzo

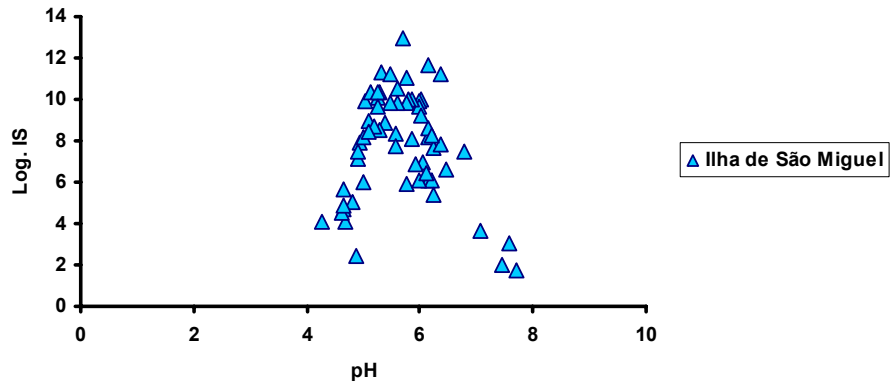




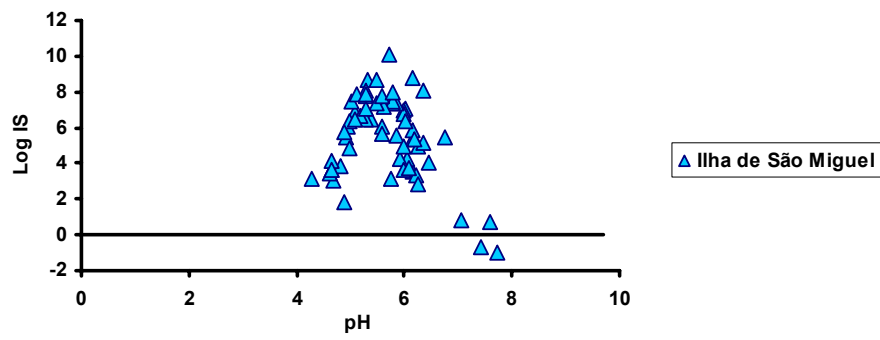




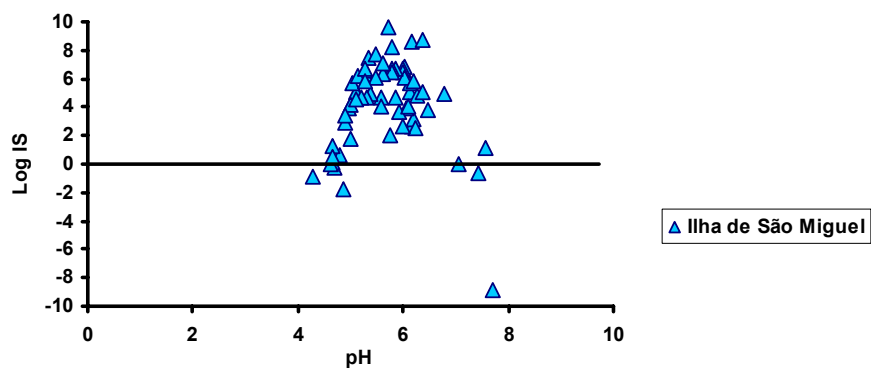
Montmorillonite-Mg



Caulinite

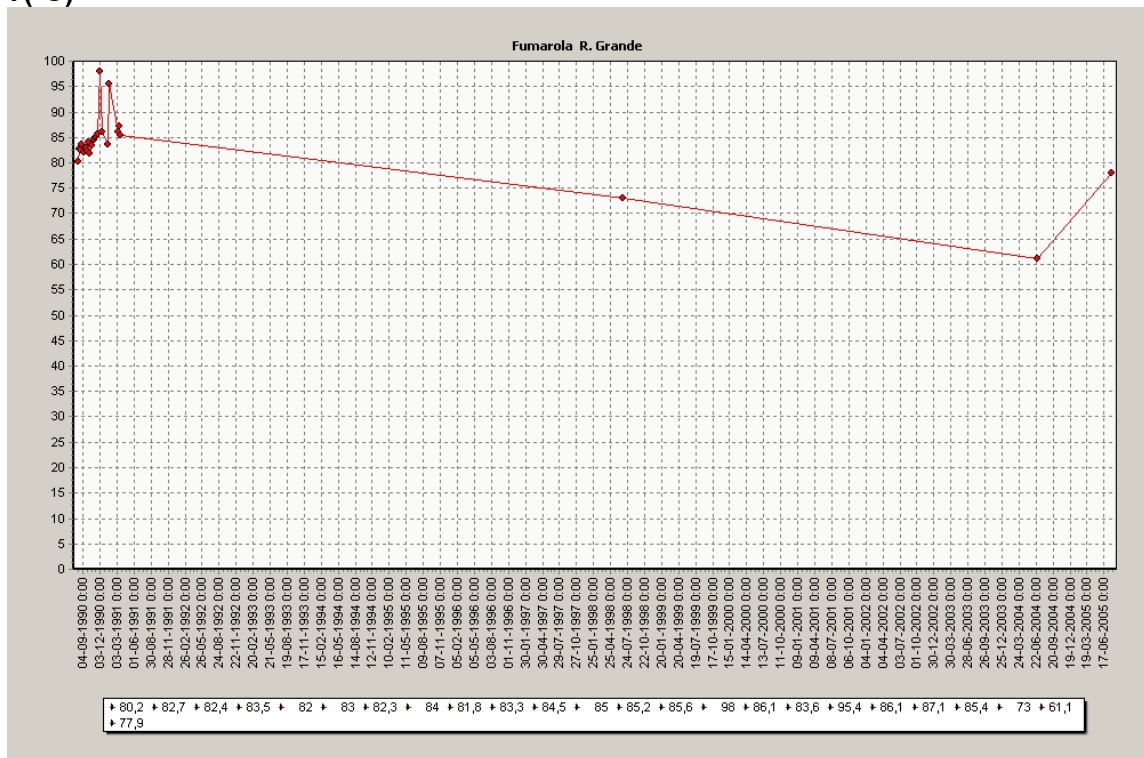


Illite

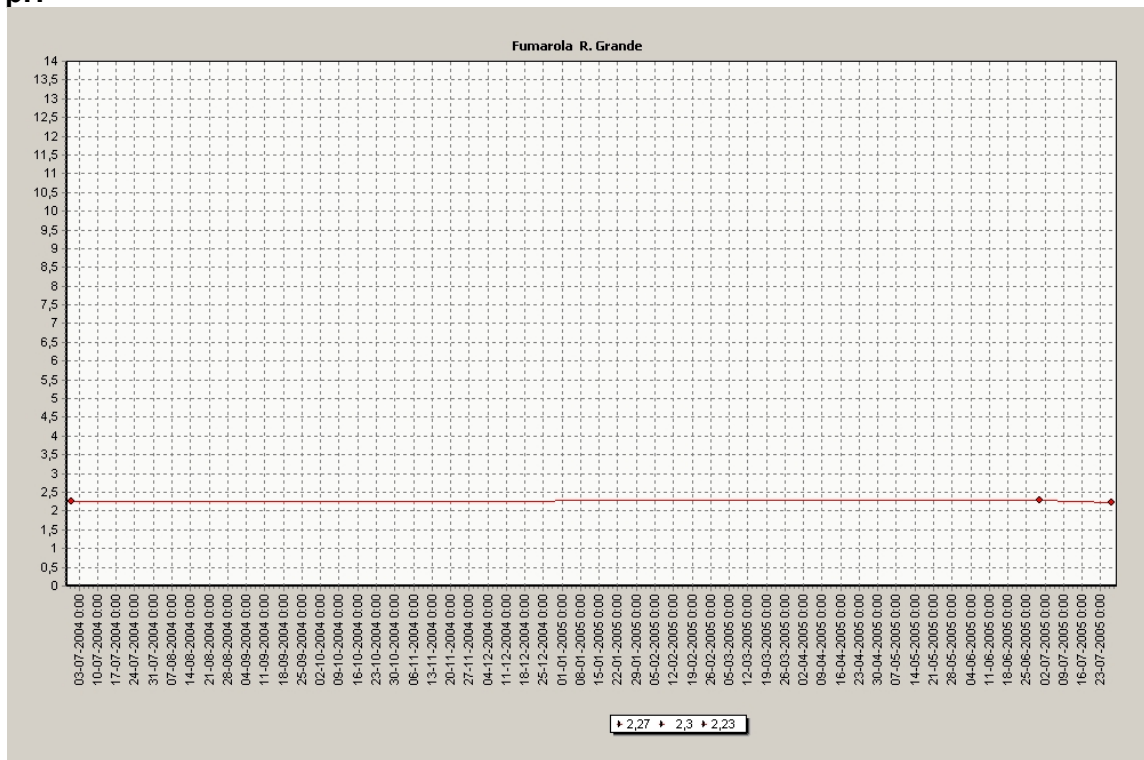


**ANEXO IX – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
FUMAROLA DA RIBEIRA GRANDE**

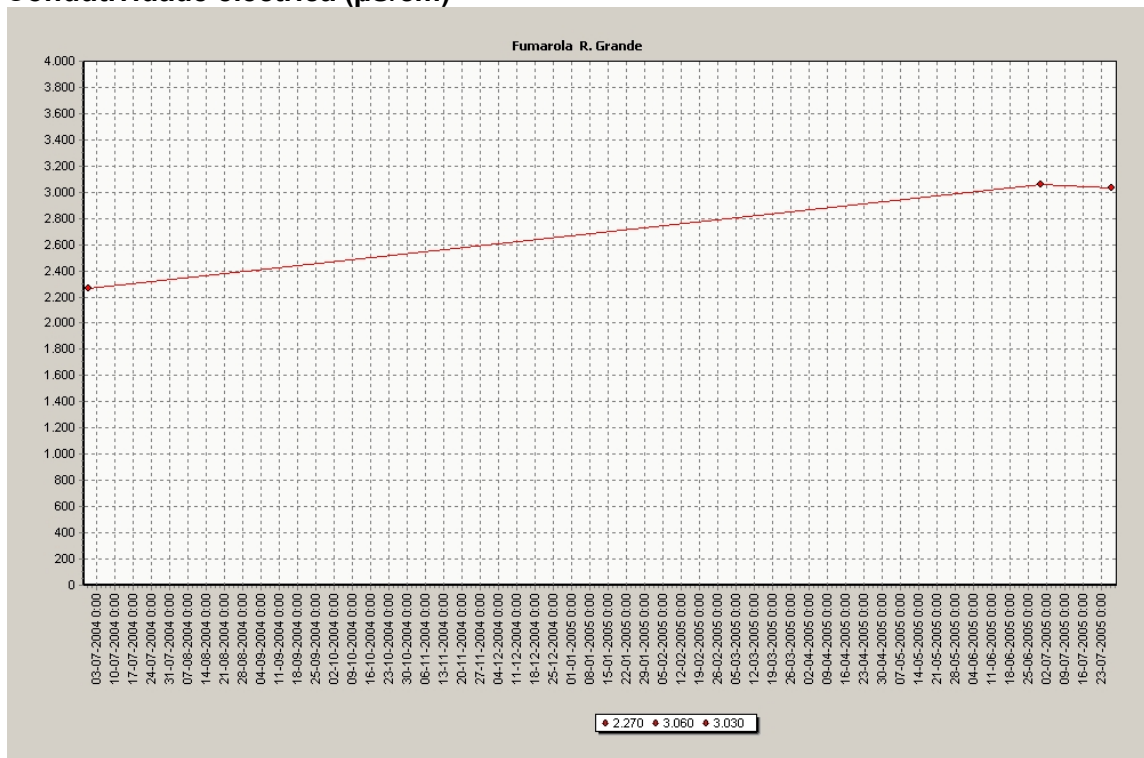
T(°C)



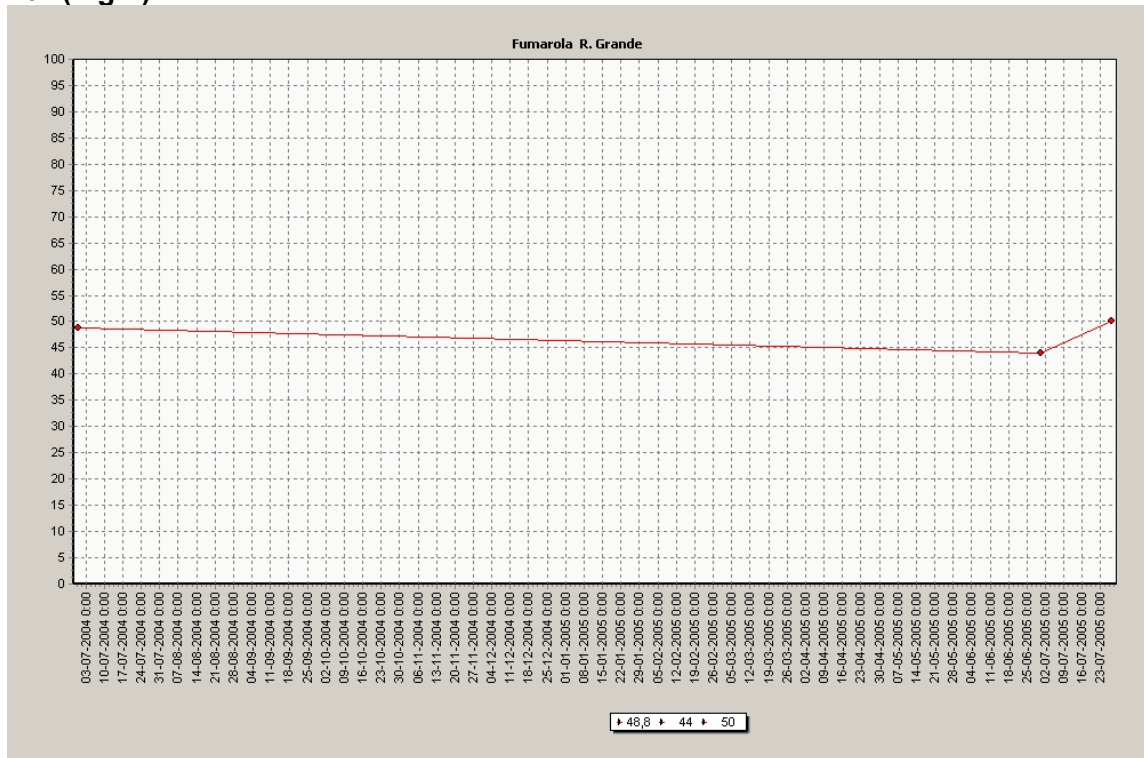
pH



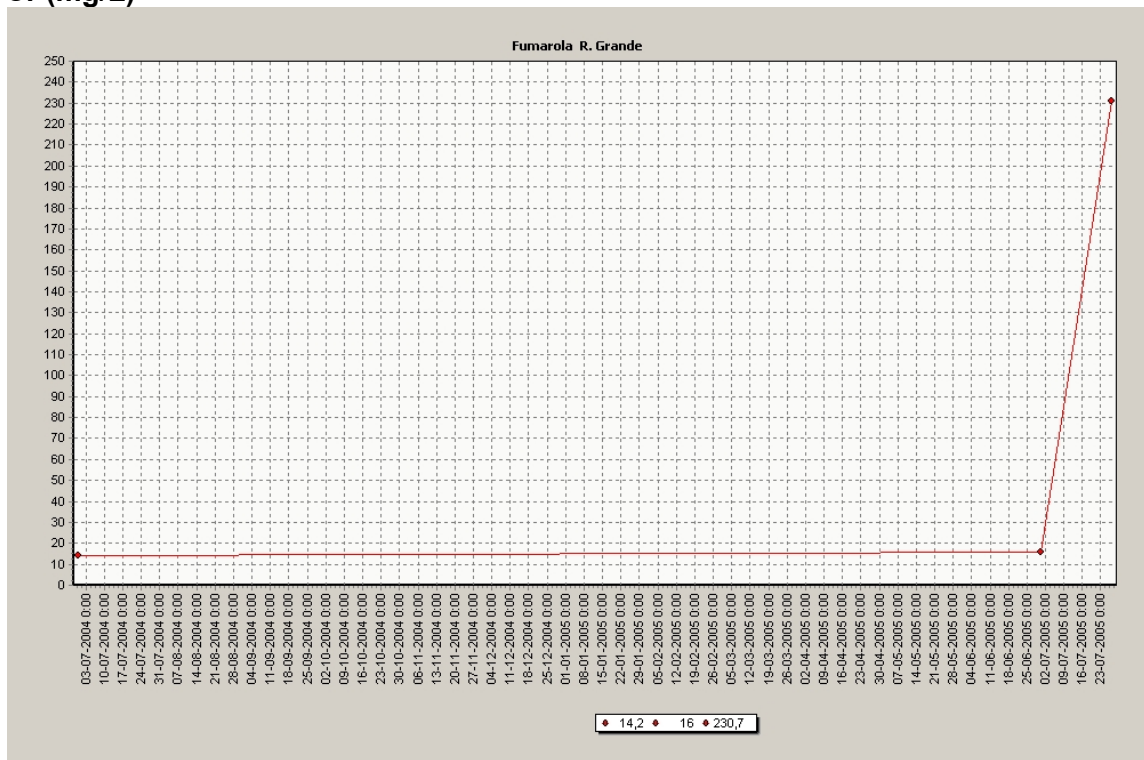
Condutividade eléctrica (µS/cm)



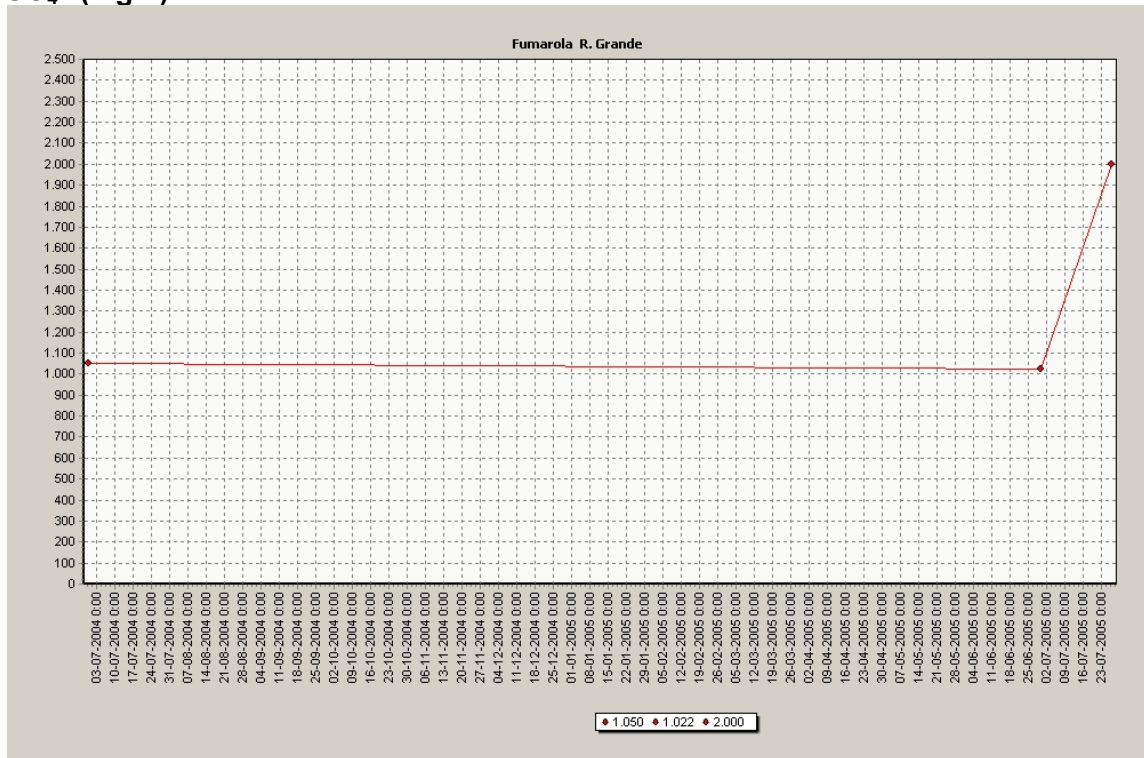
Na⁺ (mg/L)



Cl⁻ (mg/L)

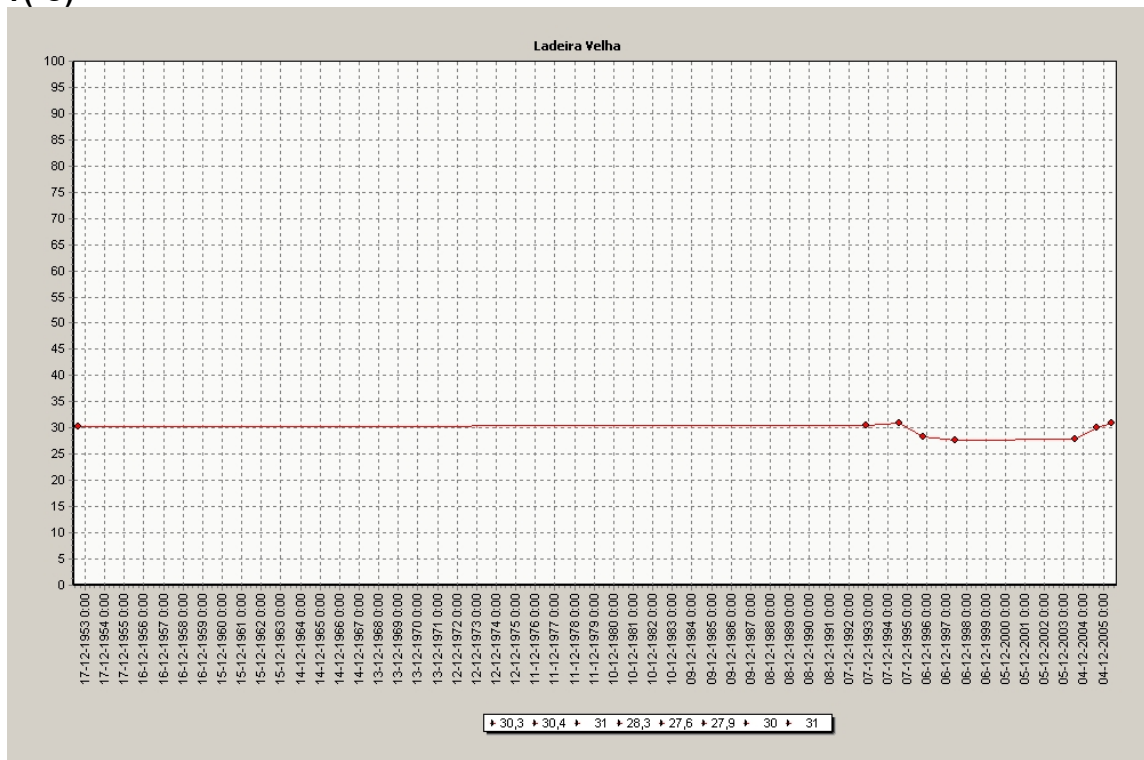


SO₄²⁻ (mg/L)

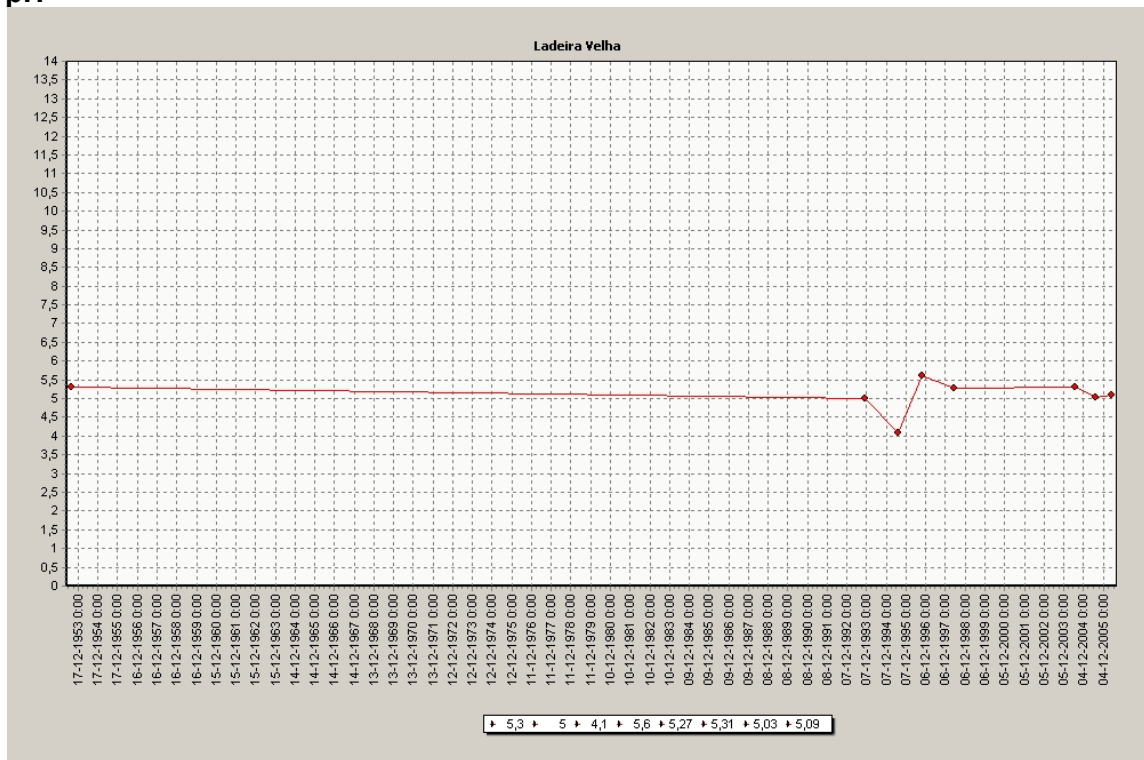


**ANEXO X –MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
LADEIRA VELHA**

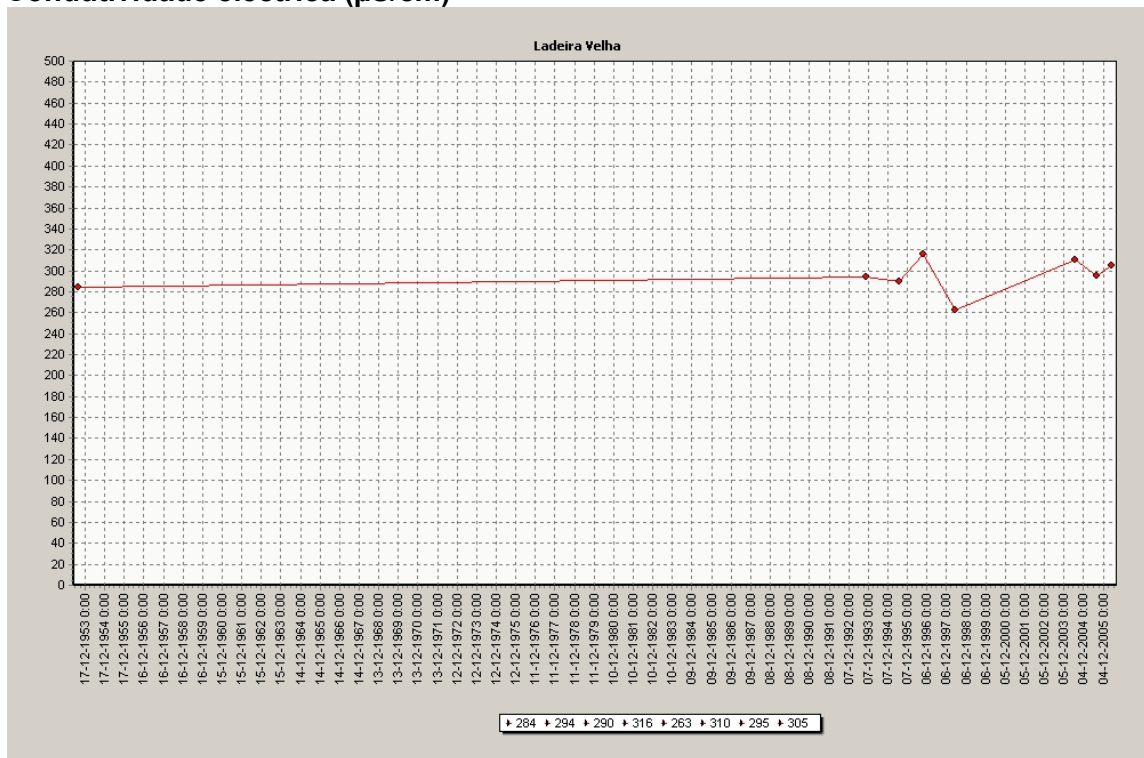
T(°C)



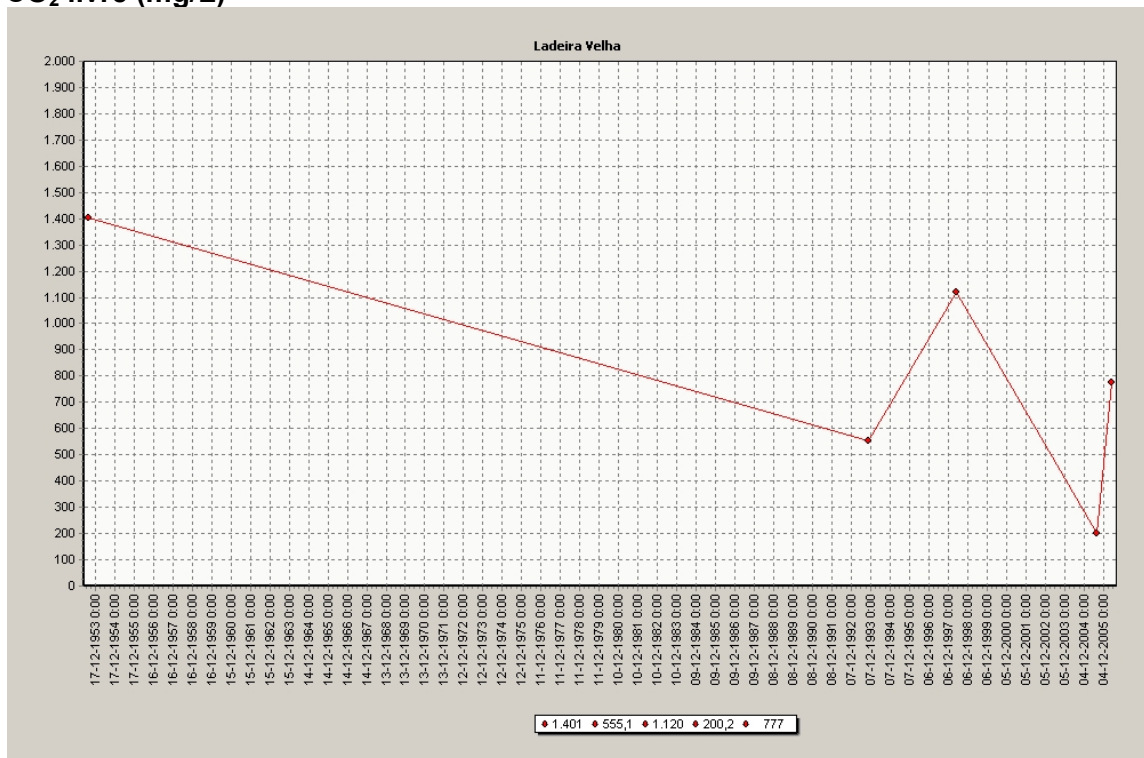
pH



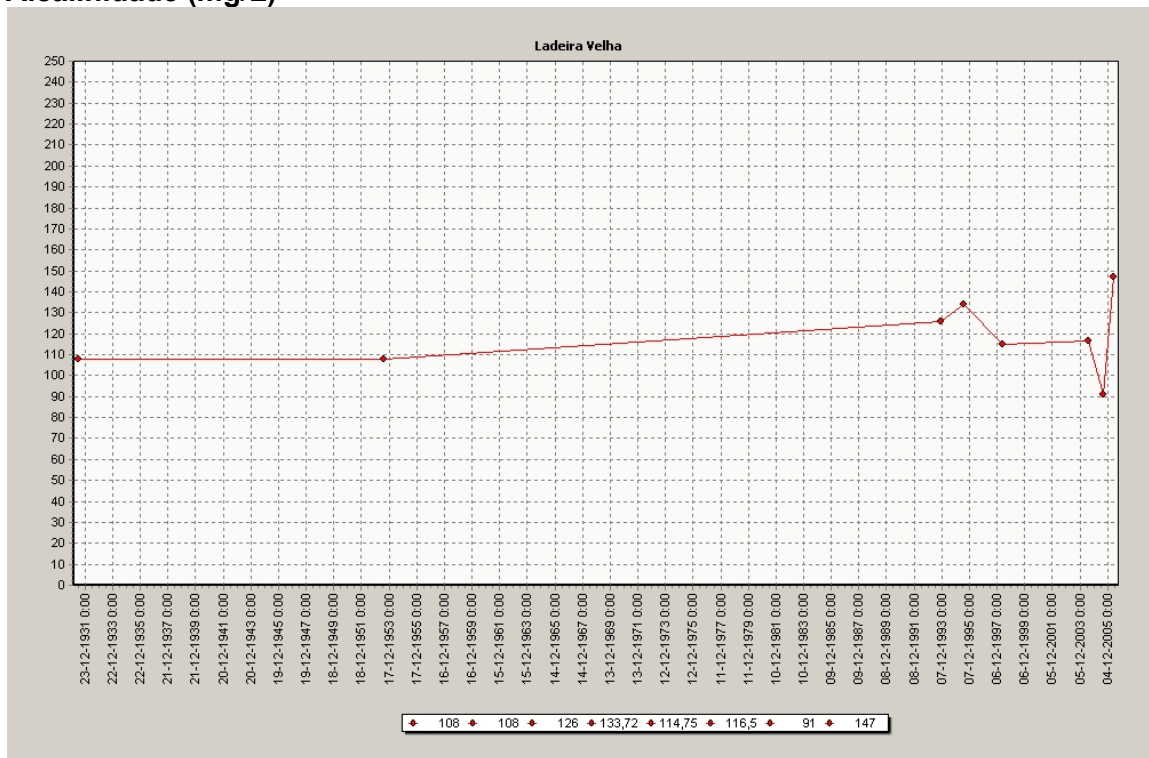
Condutividade eléctrica (µS/cm)



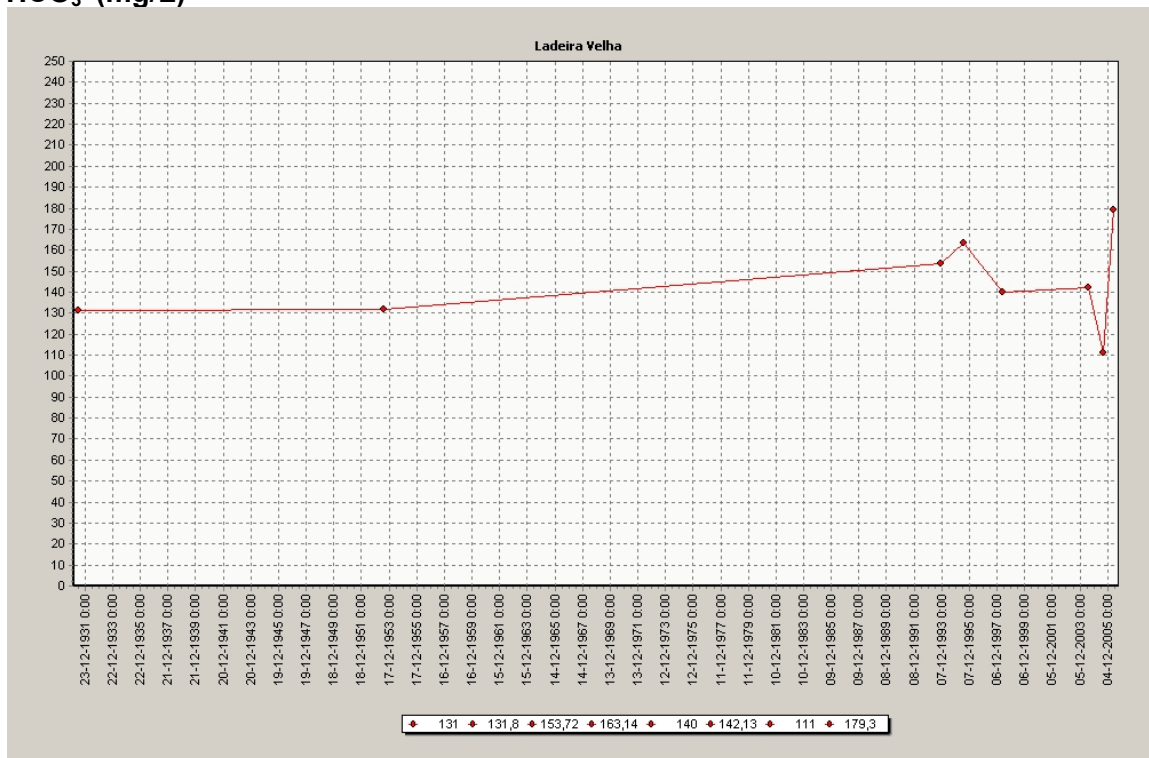
CO₂ livre (mg/L)



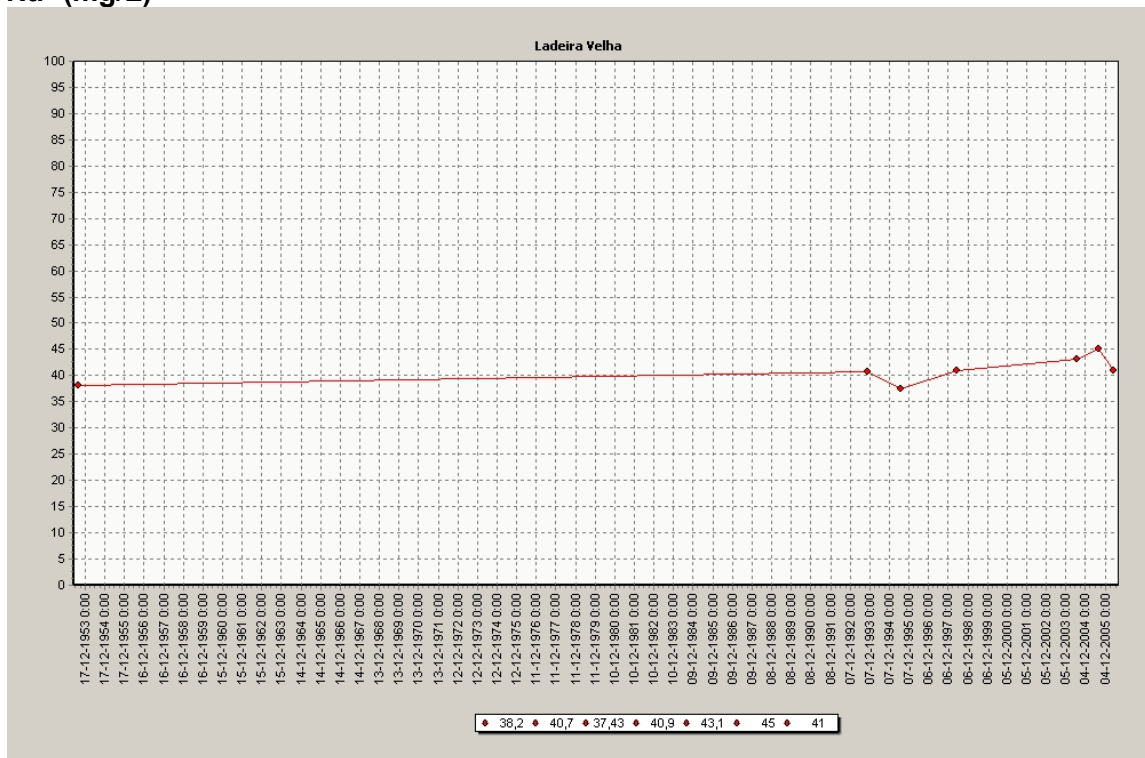
Alcalinidade (mg/L)



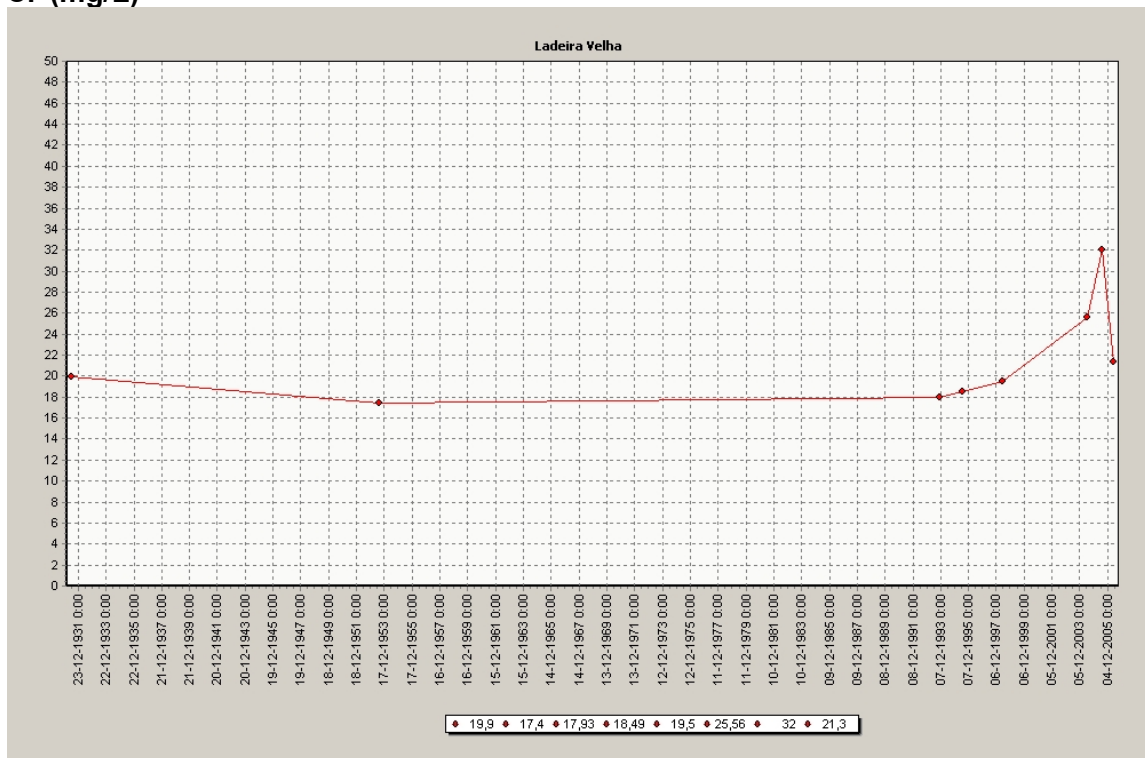
HCO₃⁻ (mg/L)



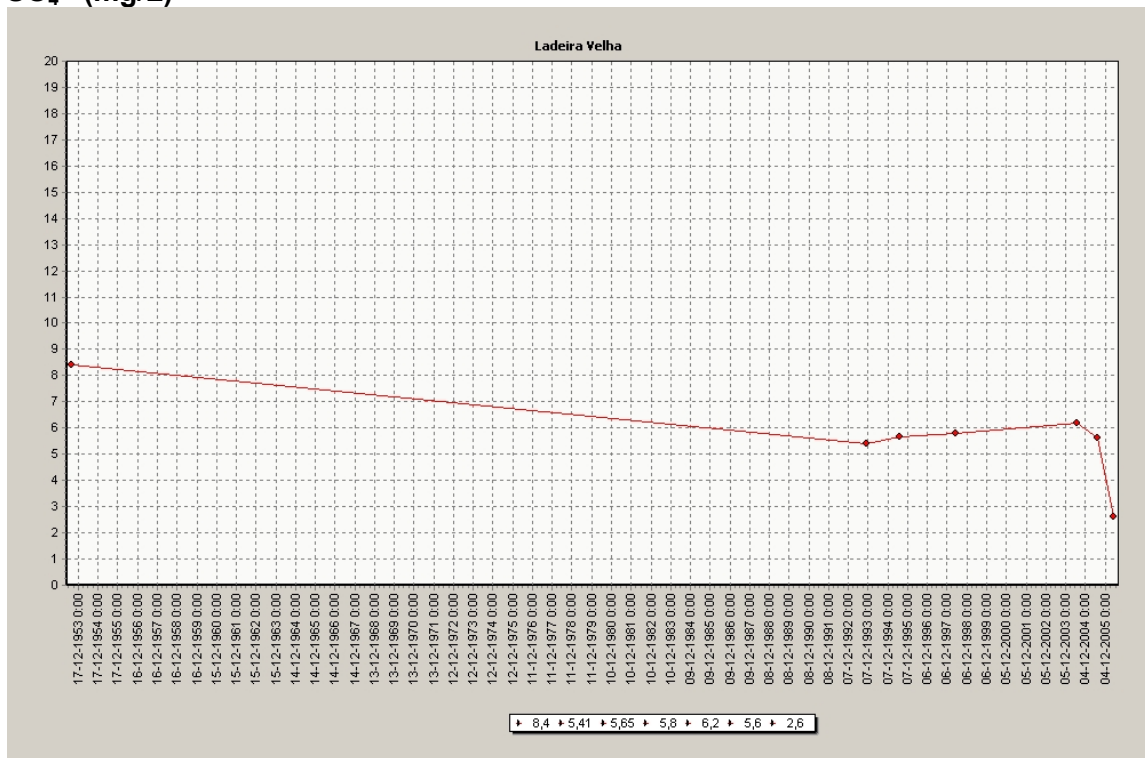
Na⁺ (mg/L)



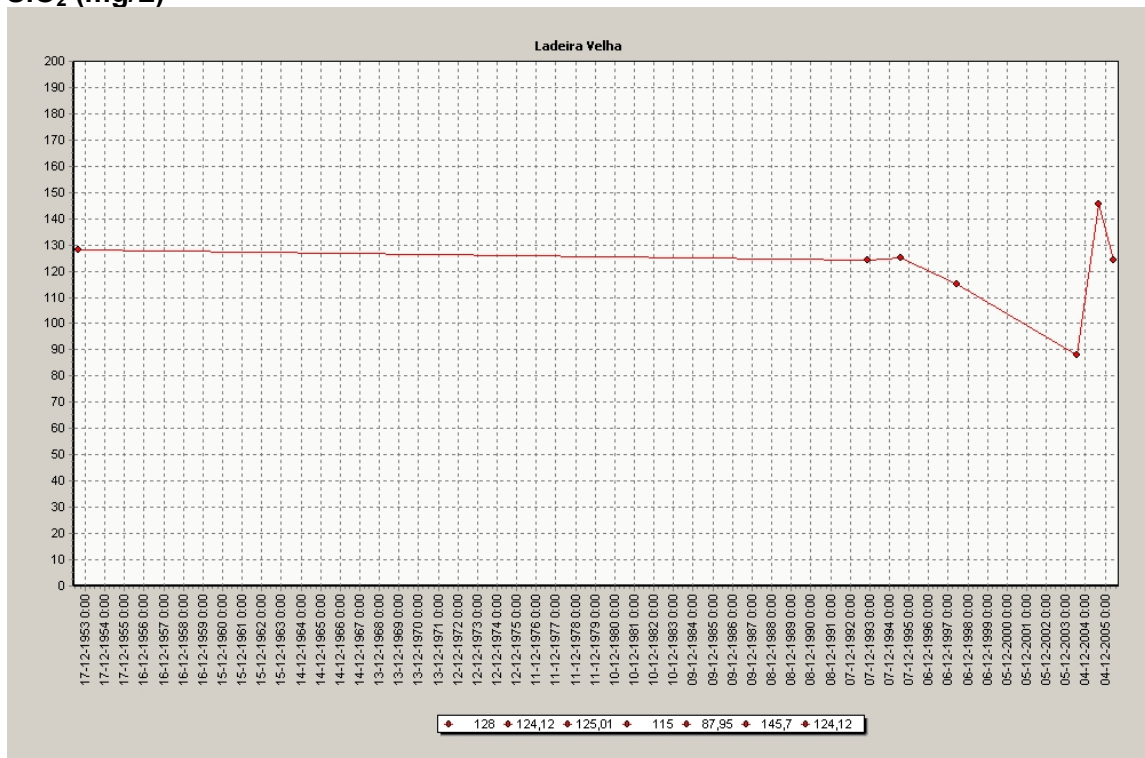
Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)

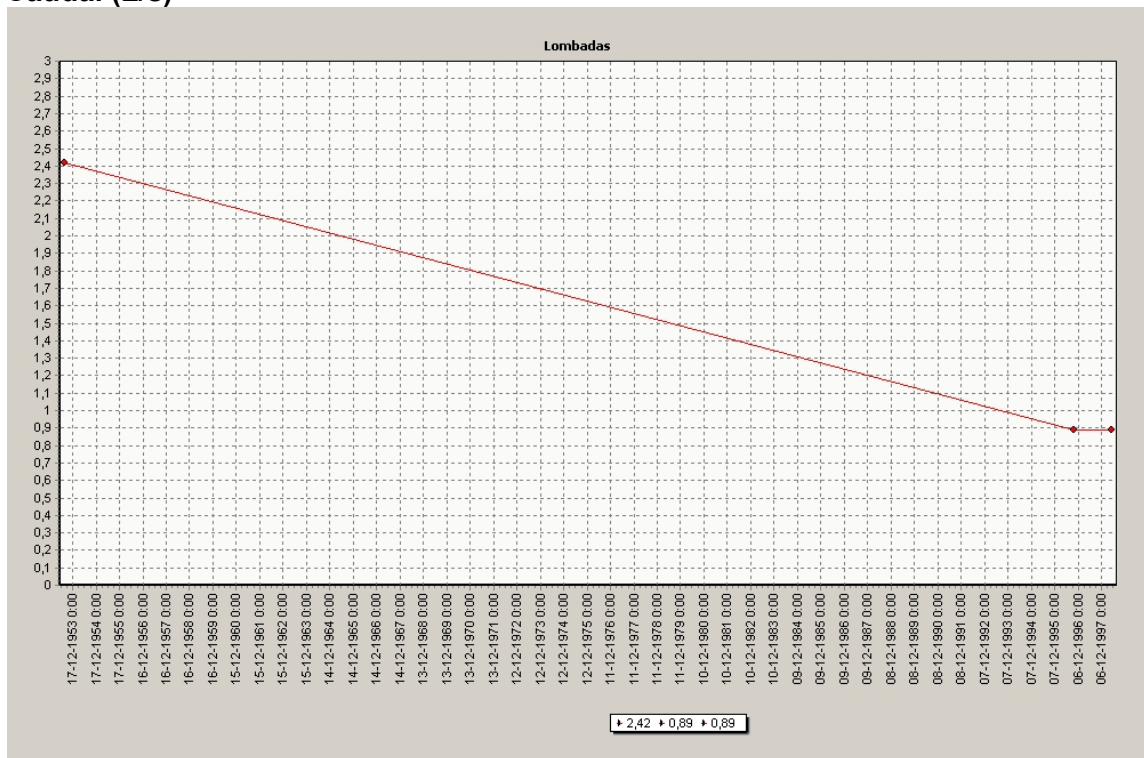


SiO₂ (mg/L)

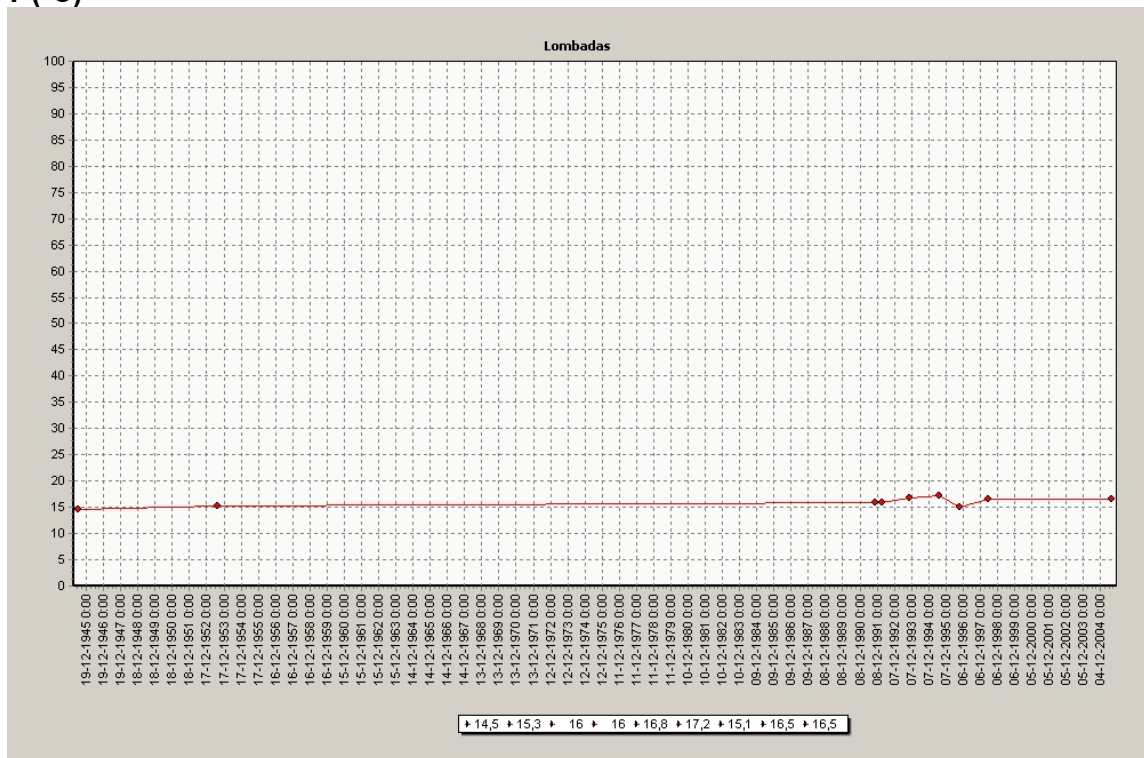


**ANEXO XI – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
LOMBADAS**

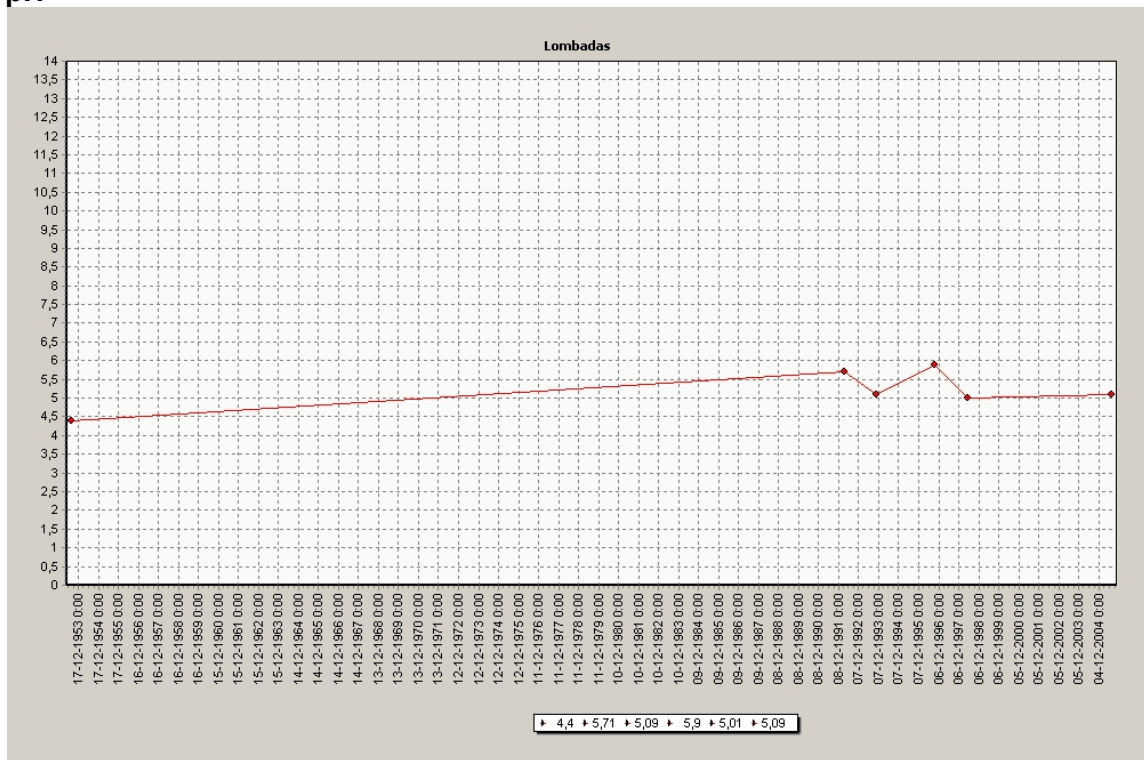
Caudal (L/s)



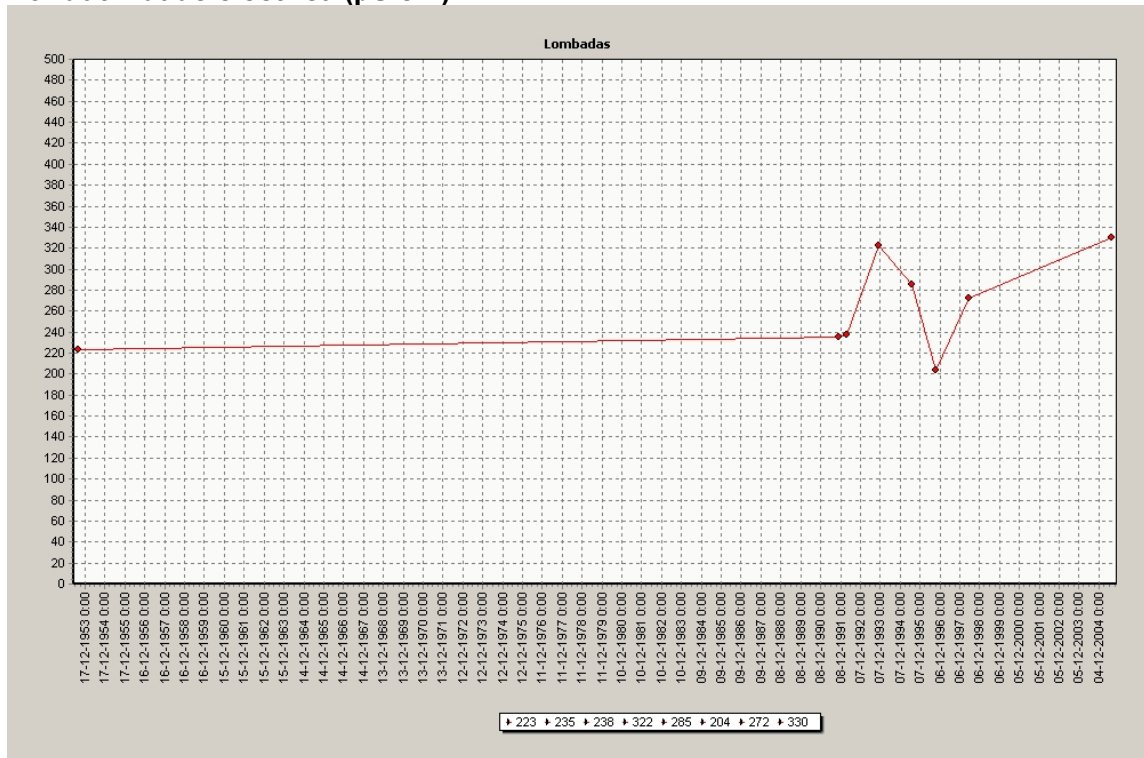
T (°C)



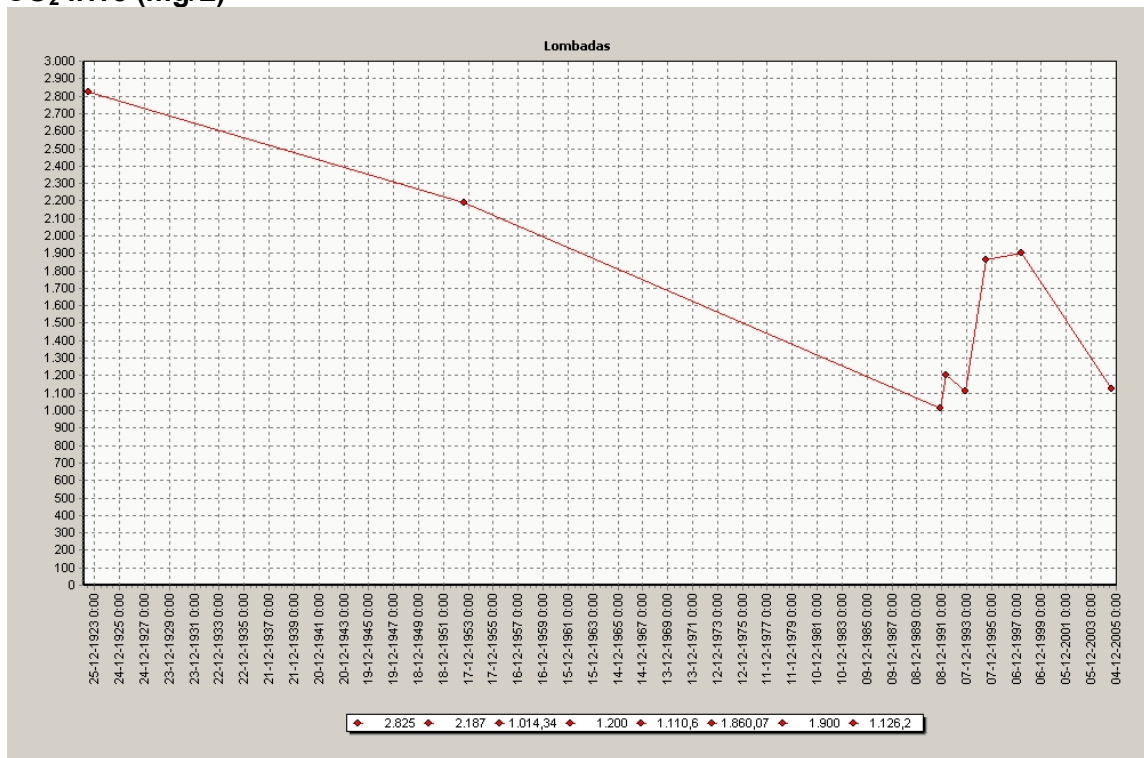
pH



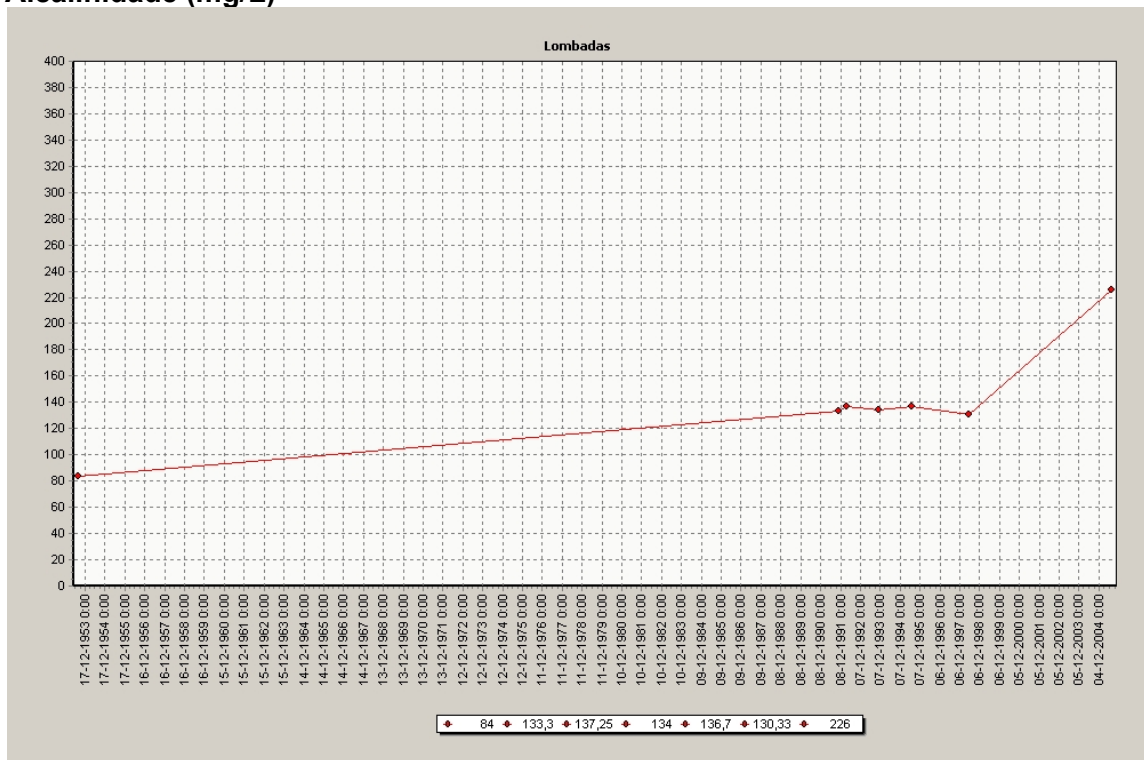
Condutividade eléctrica (µS/cm)



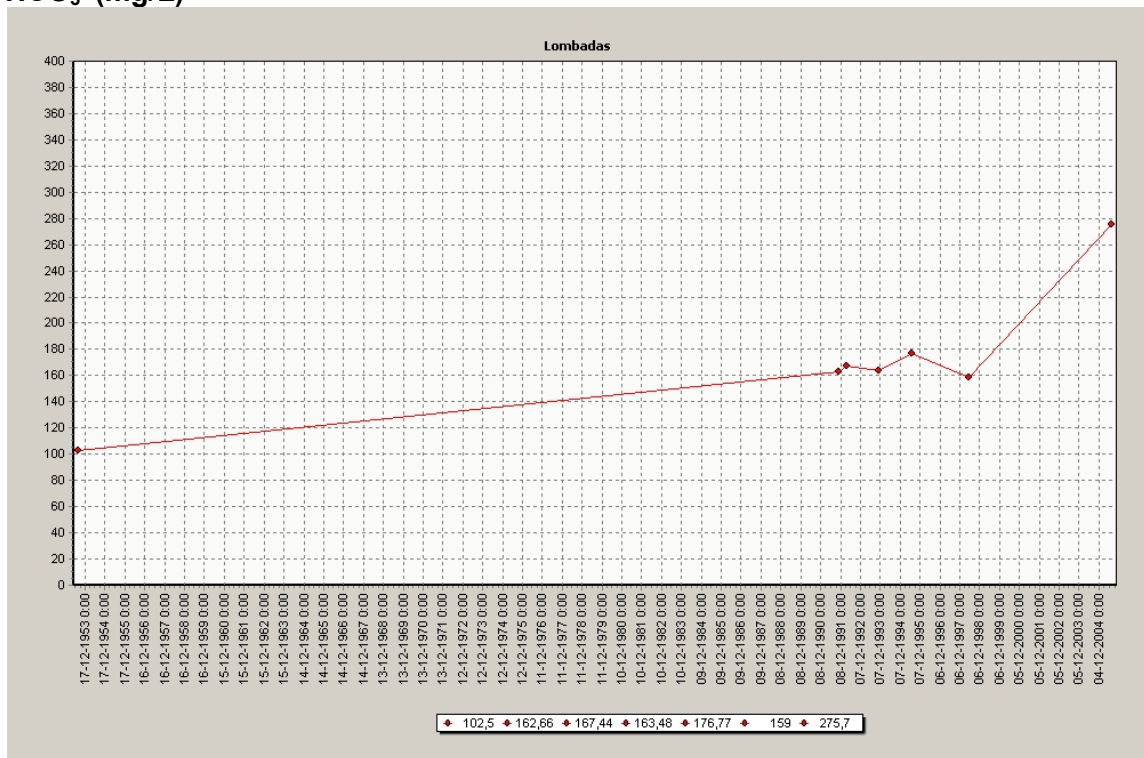
CO₂ livre (mg/L)



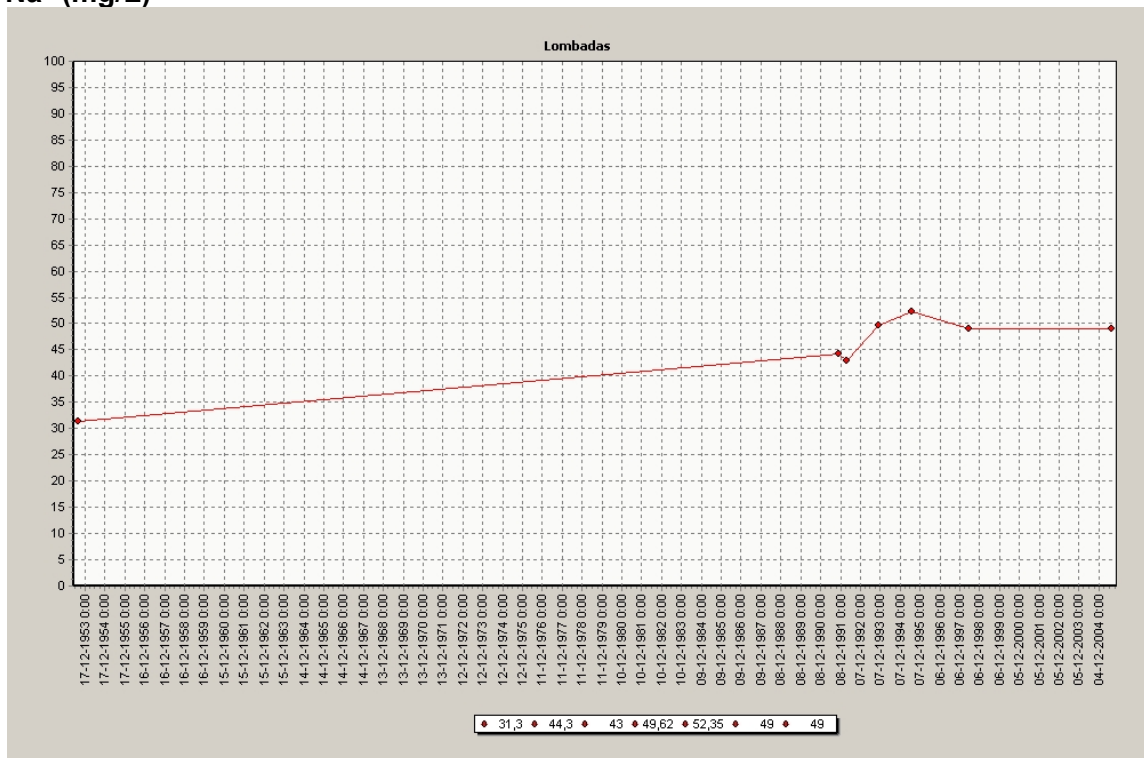
Alcalinidade (mg/L)



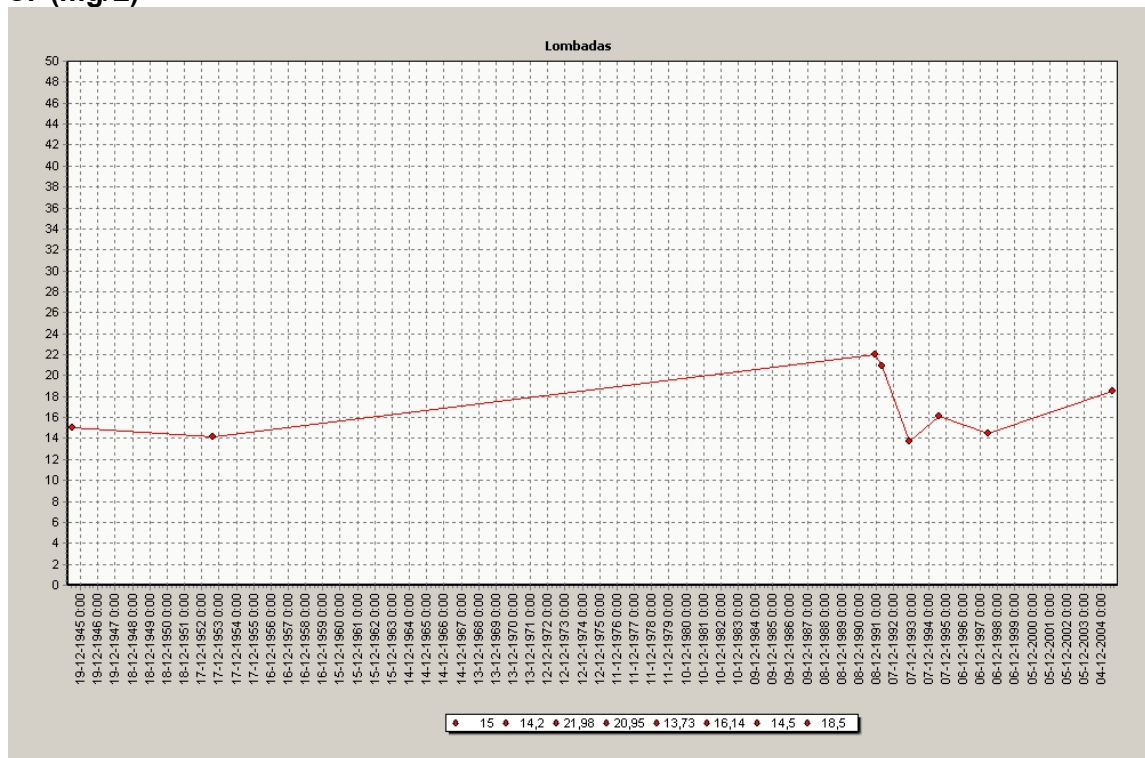
HCO₃⁻ (mg/L)



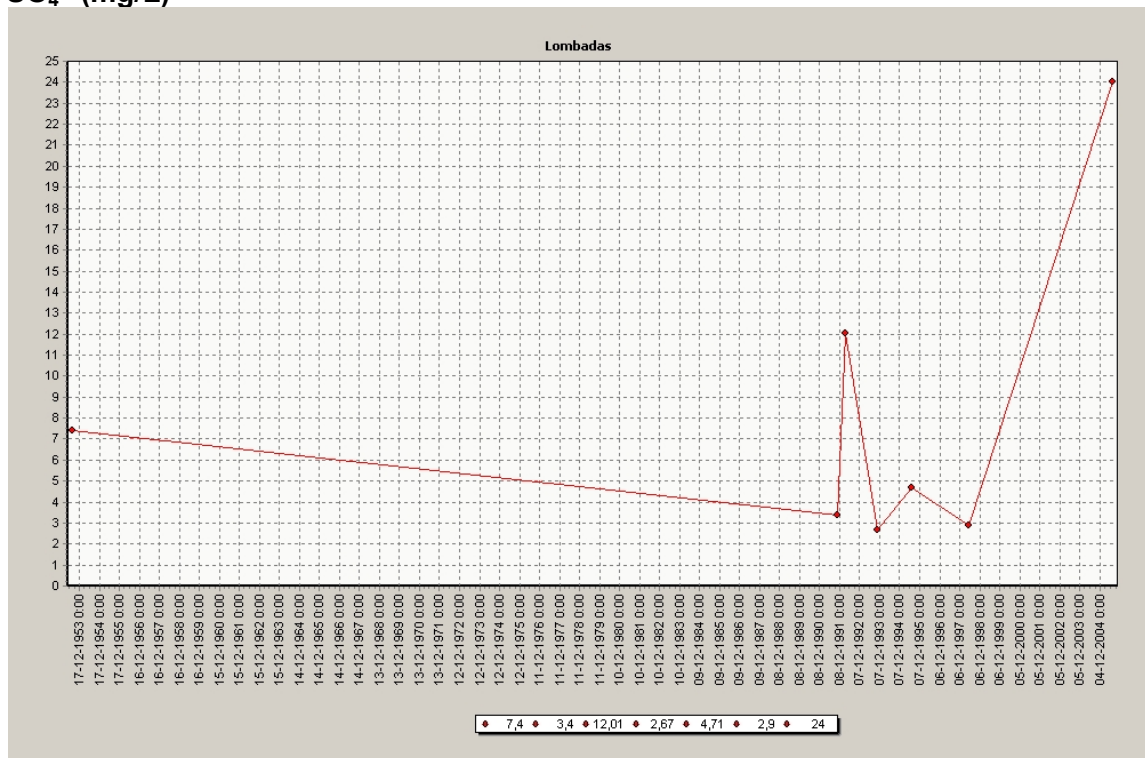
Na⁺ (mg/L)



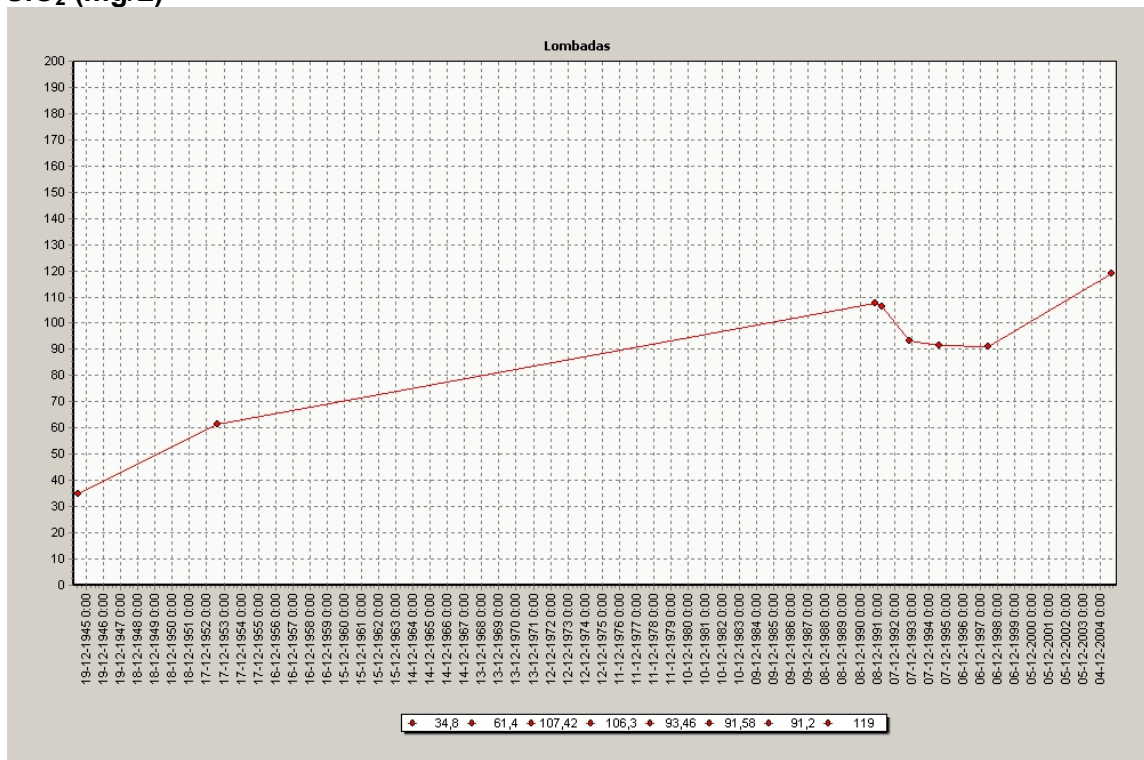
Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)

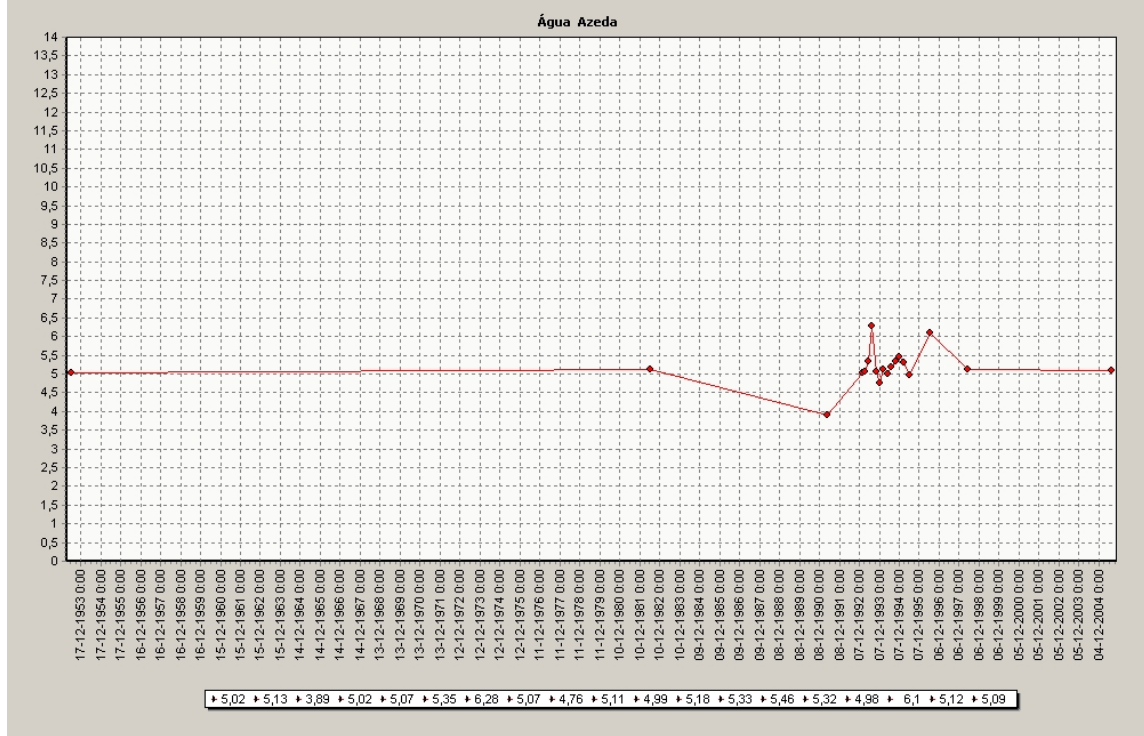


SiO₂ (mg/L)

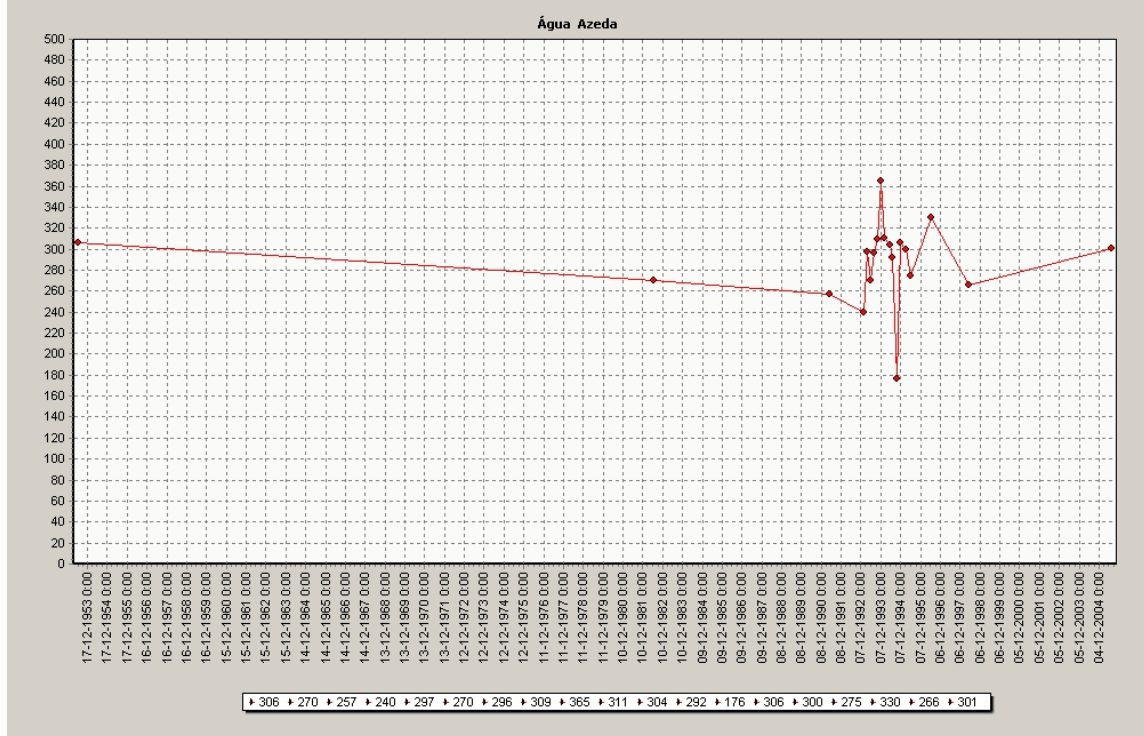


**ANEXO XII – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
ÁGUA AZEDA**

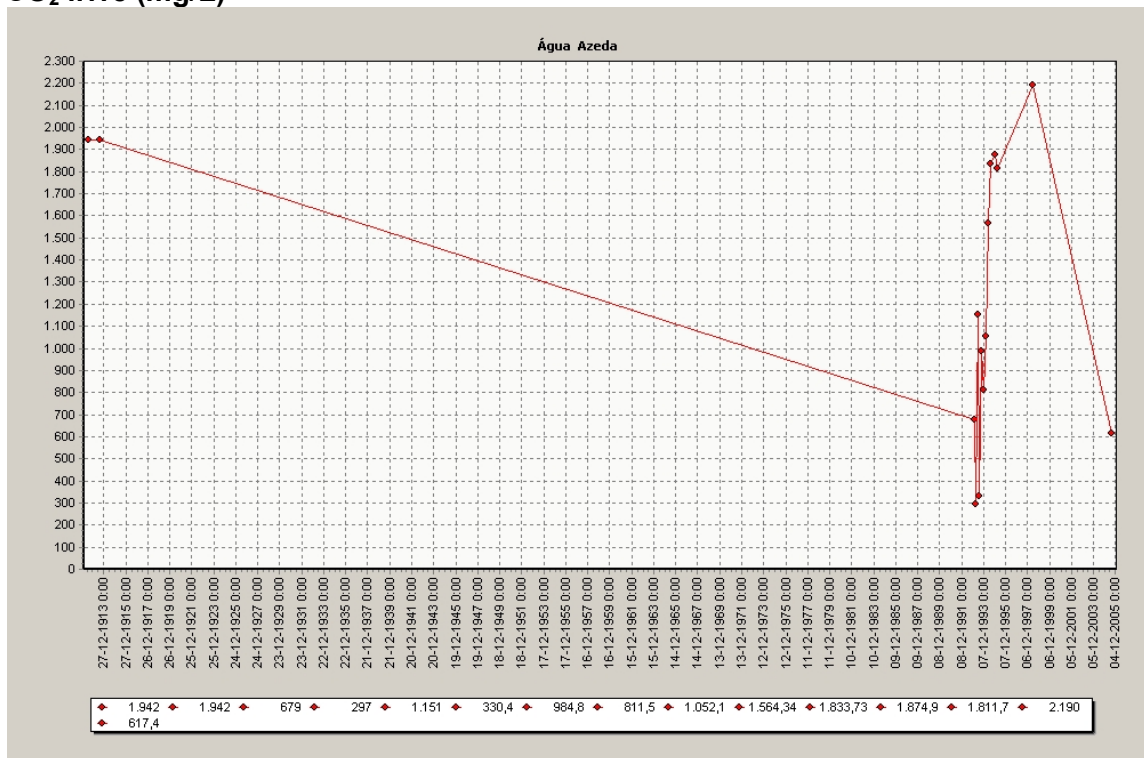
pH



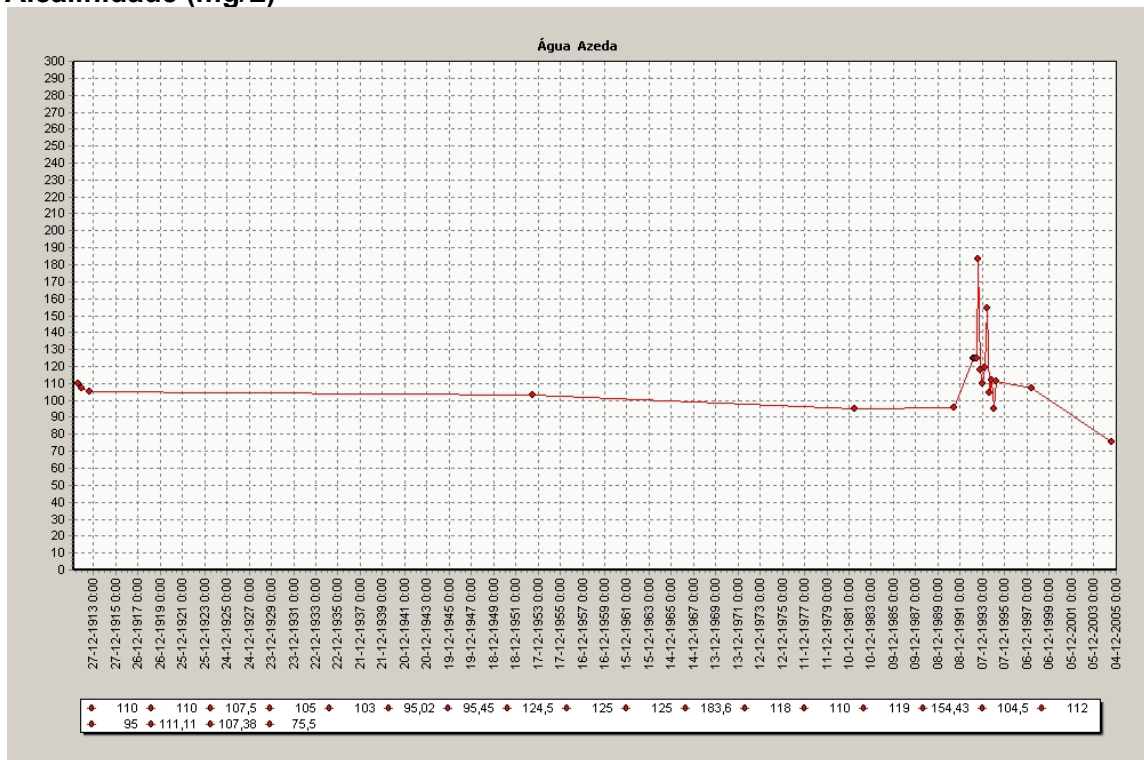
Condutividade eléctrica (µS/cm)



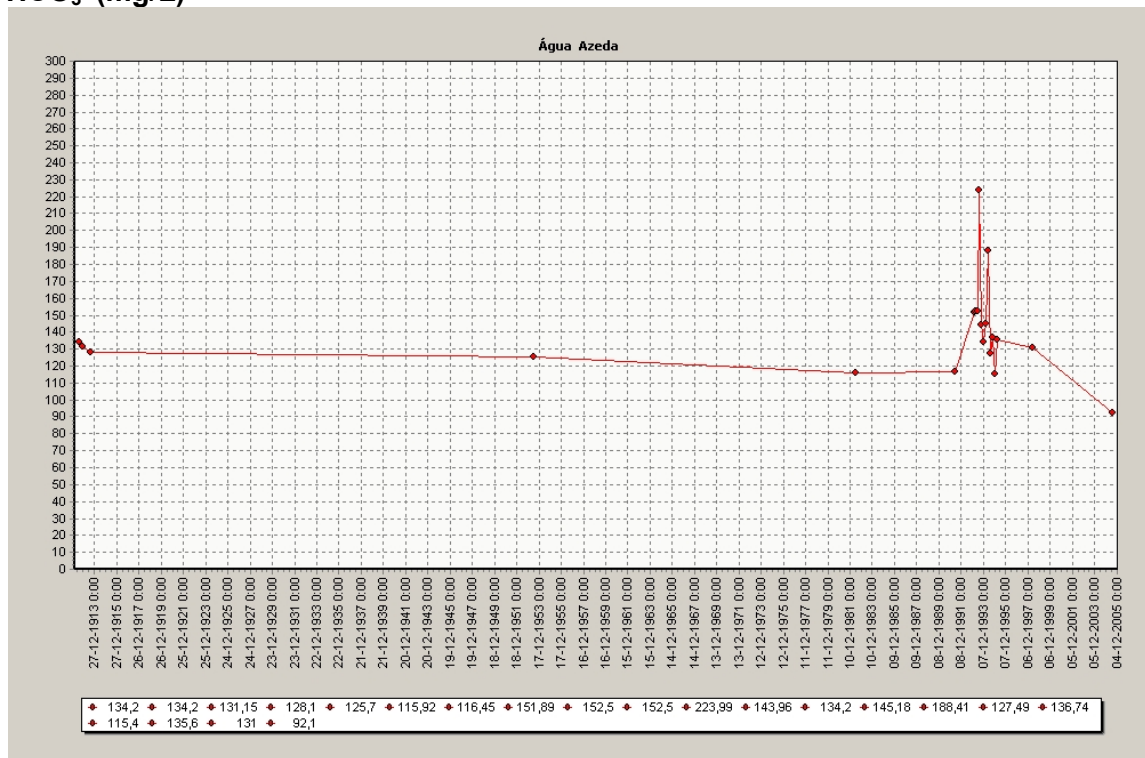
CO₂ livre (mg/L)



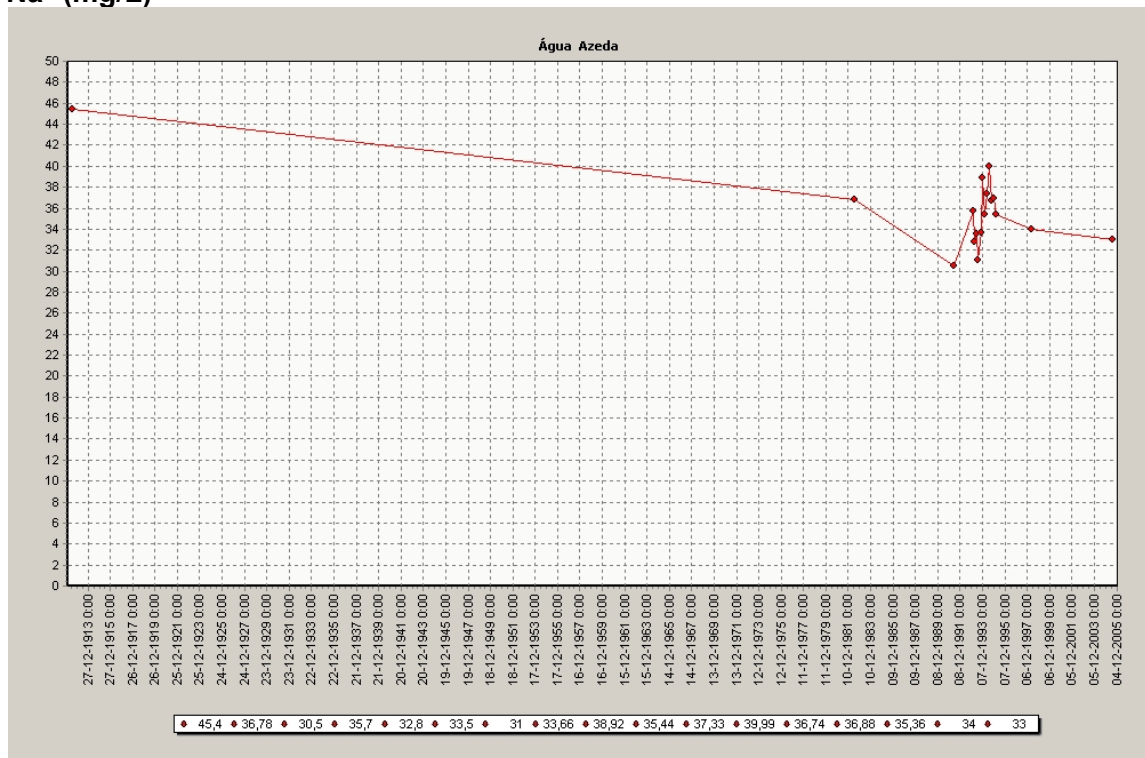
Alcalinidade (mg/L)



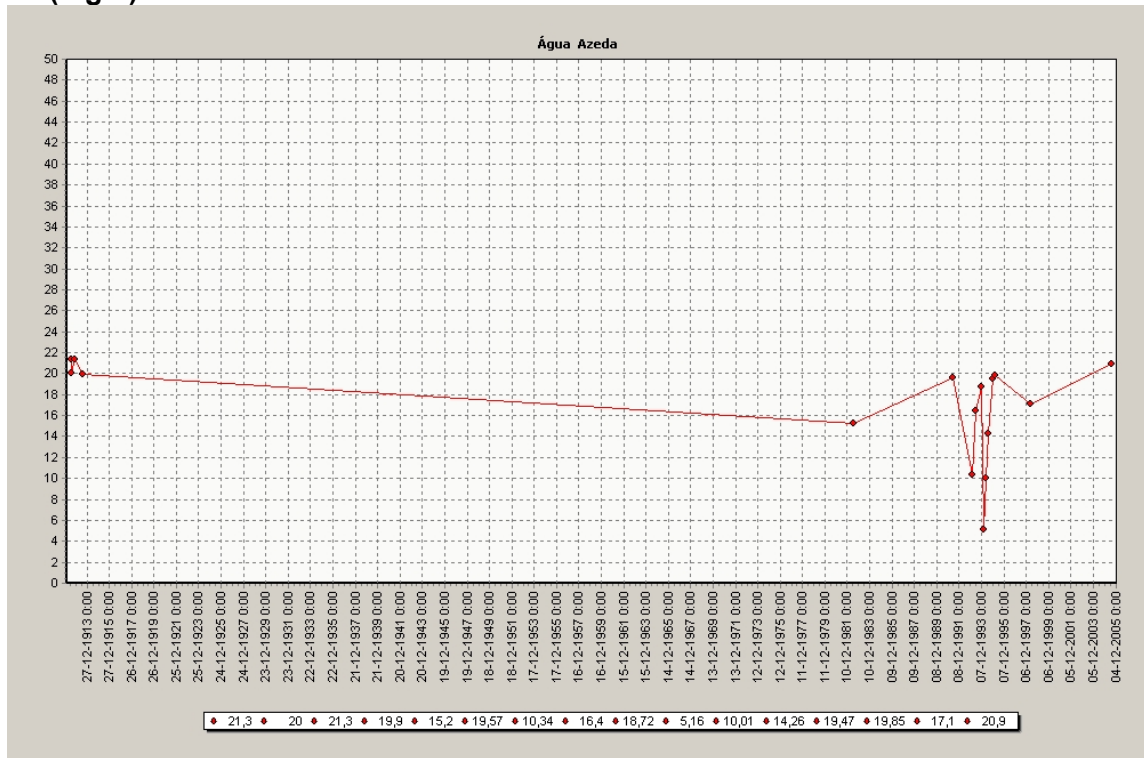
HCO₃⁻ (mg/L)



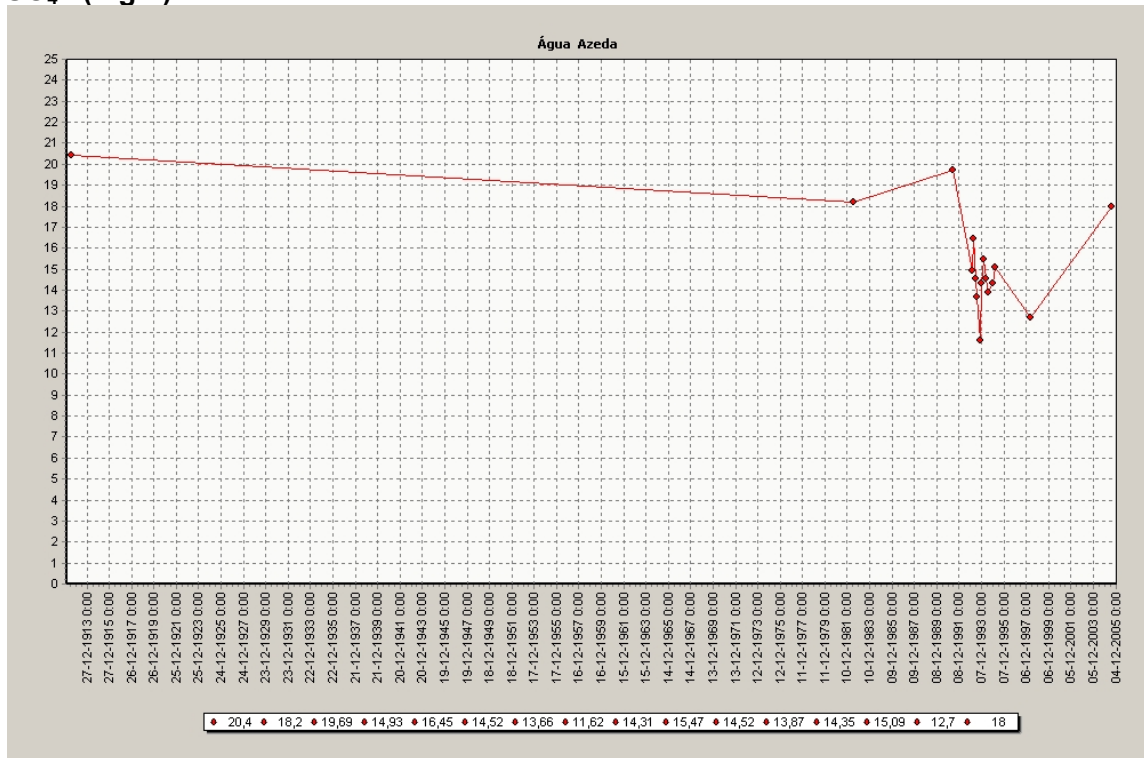
Na⁺ (mg/L)



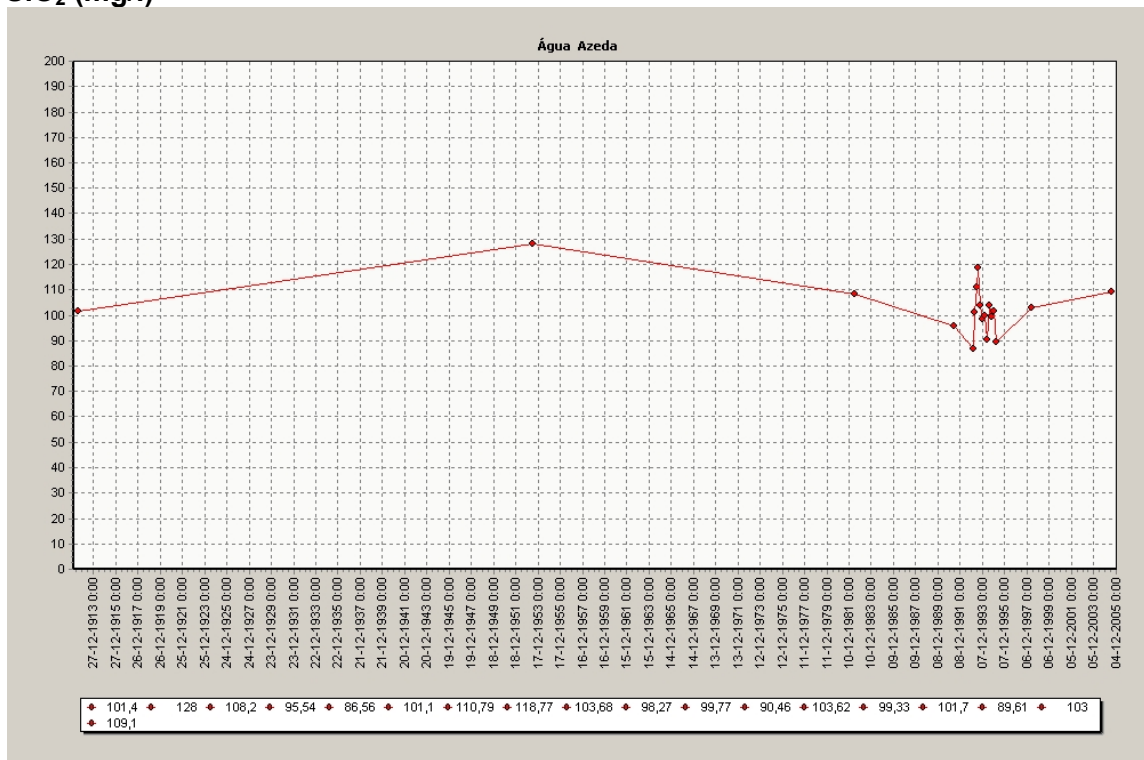
Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)

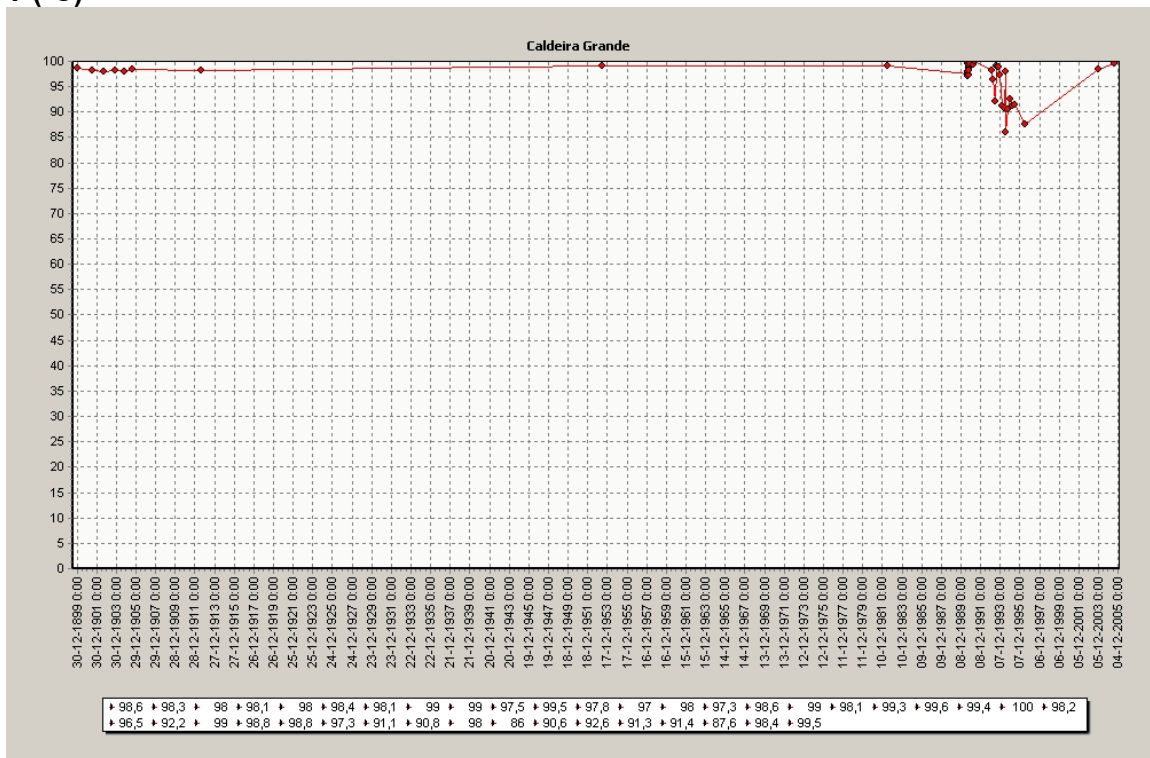


SiO₂ (mg/l)

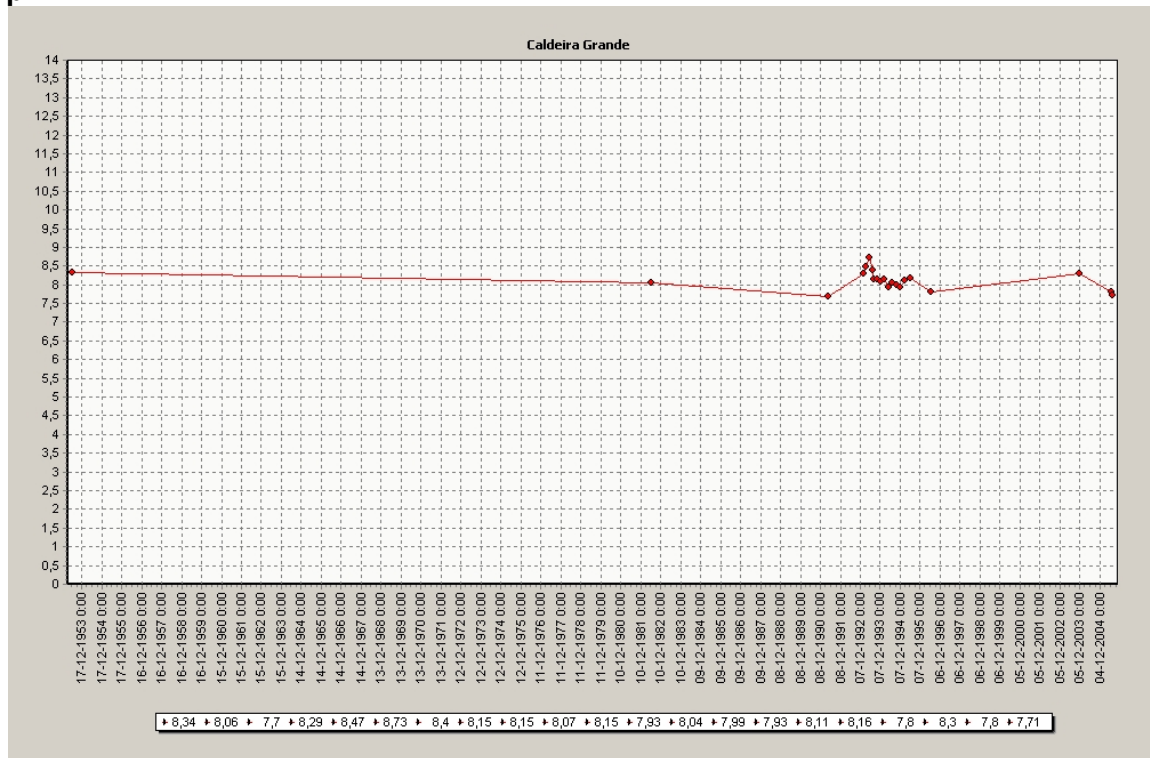


**ANEXO XIII – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
CALDEIRA GRANDE**

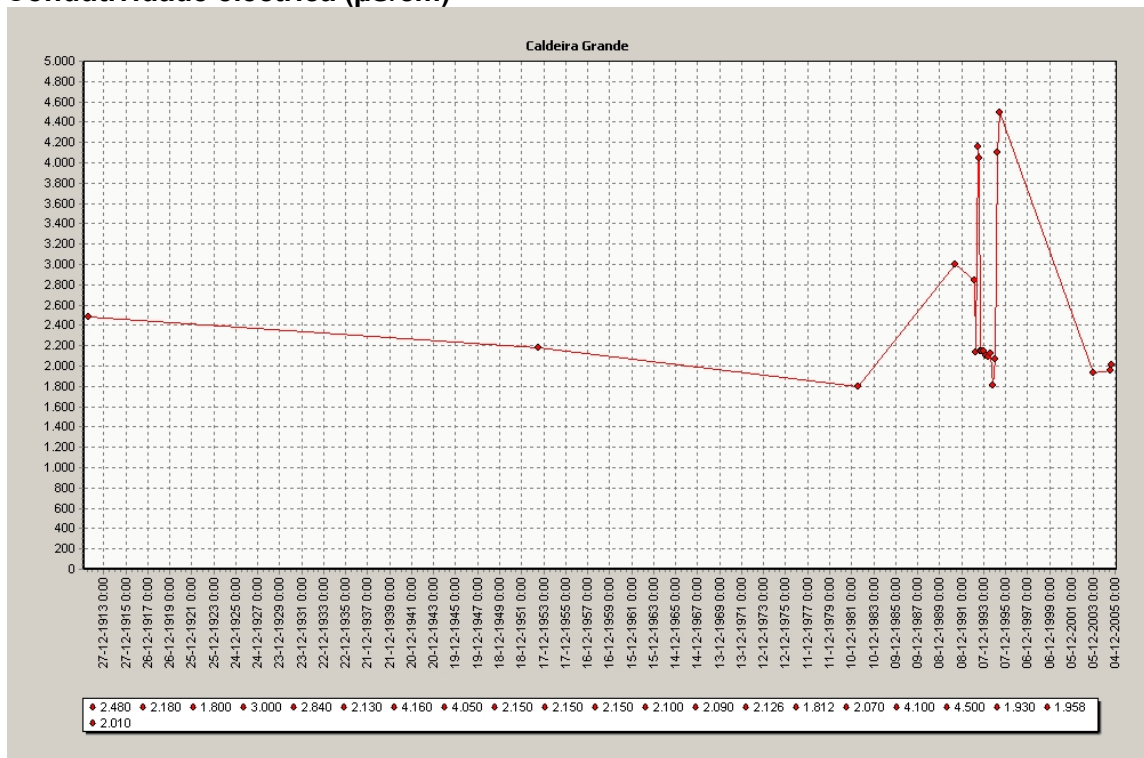
T (°C)



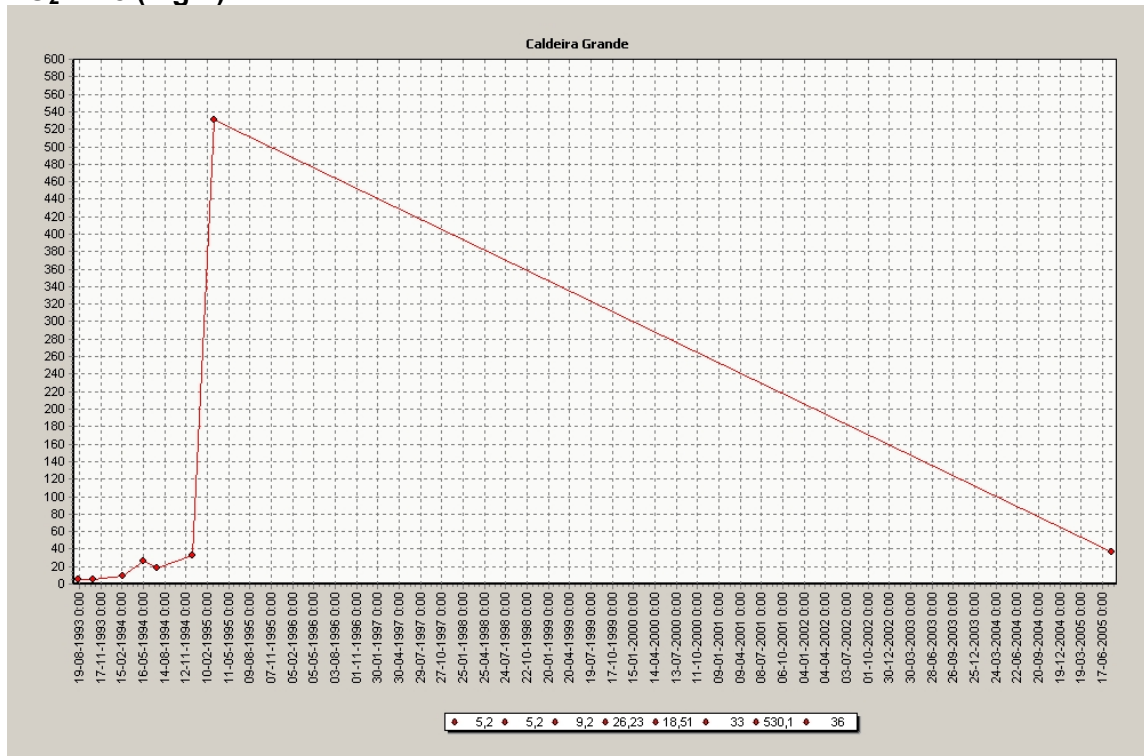
pH



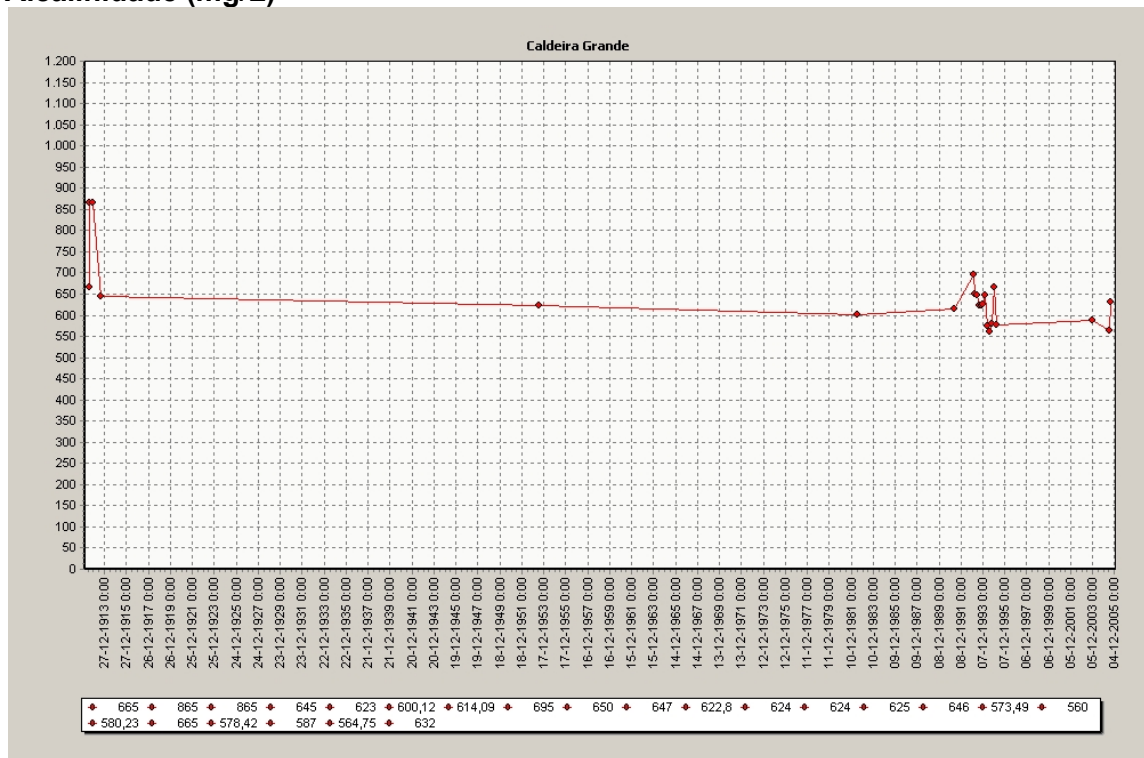
Condutividade eléctrica (µS/cm)



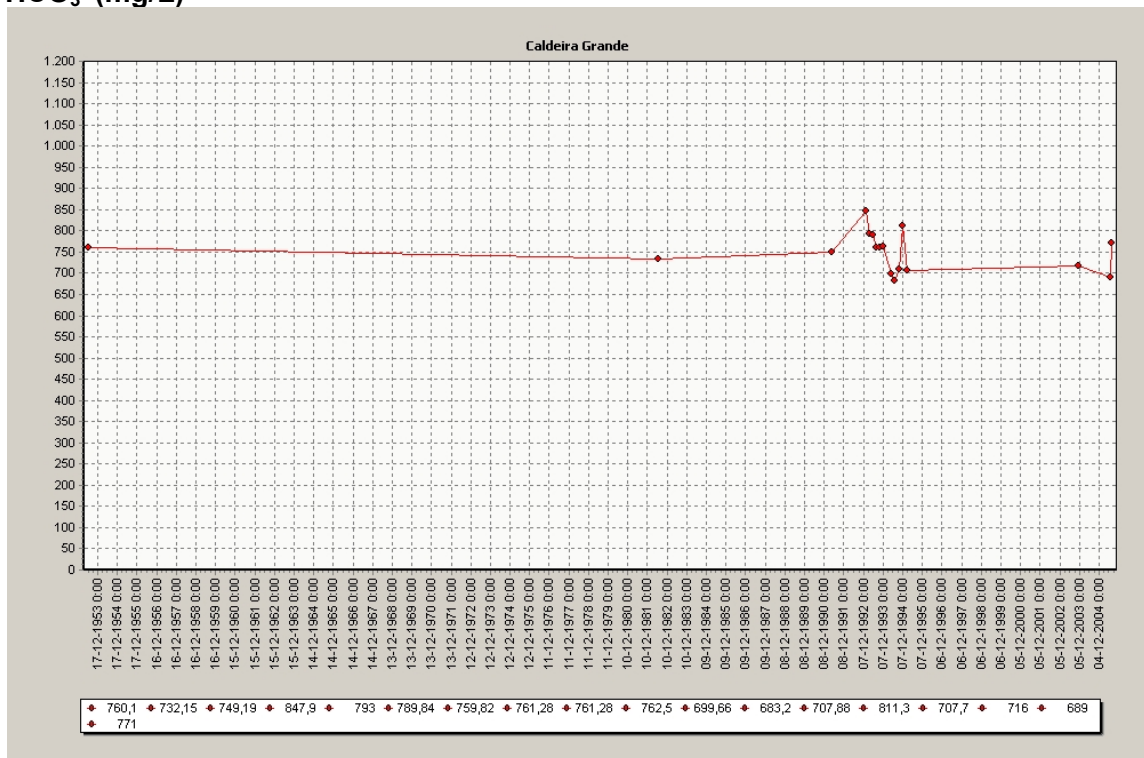
CO₂ livre (mg/L)



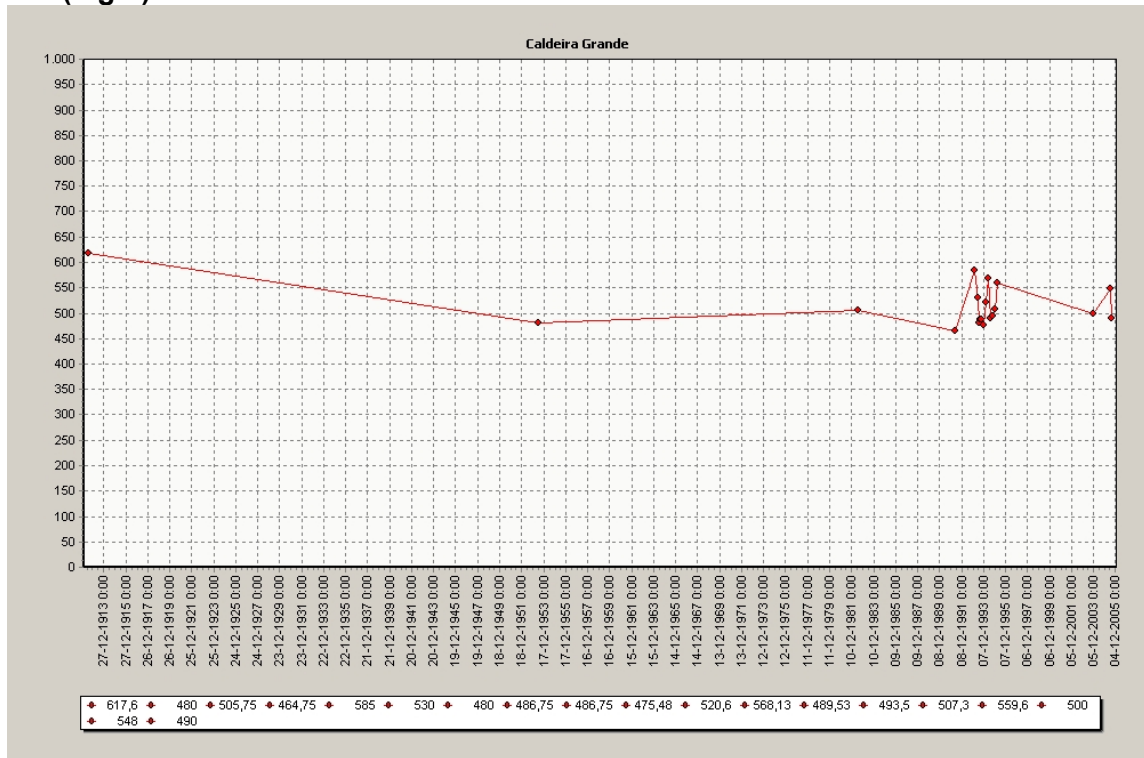
Alcalinidade (mg/L)



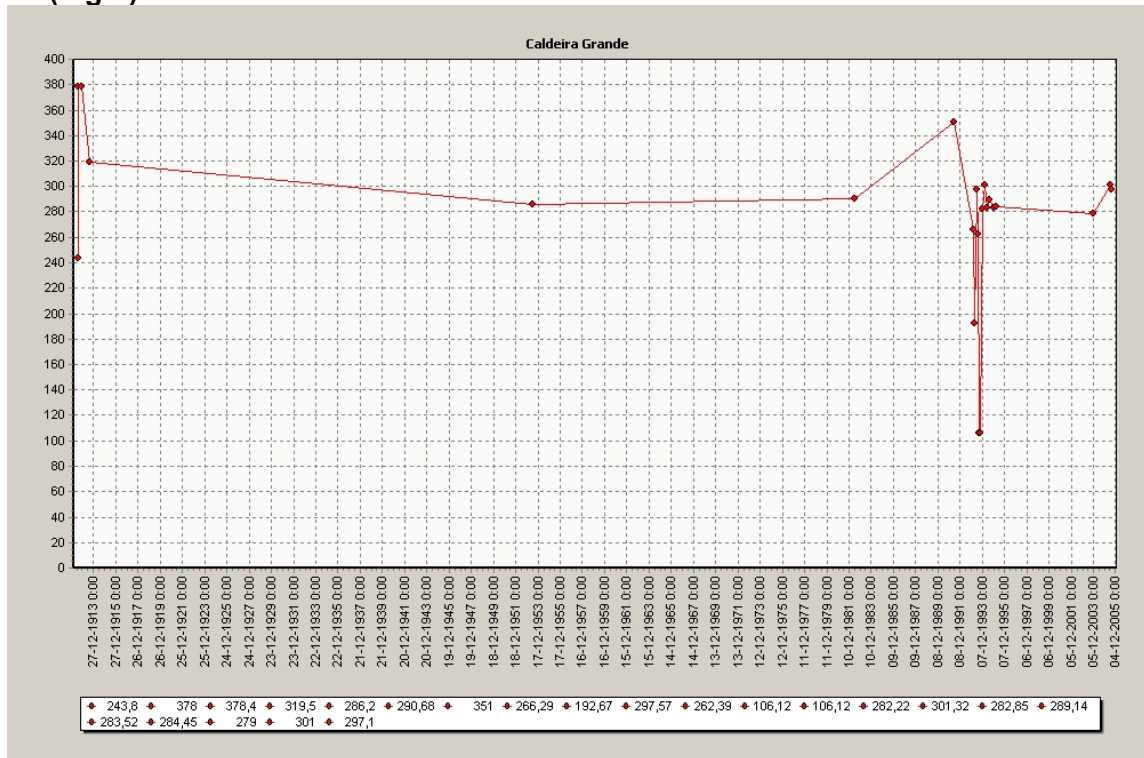
HCO₃⁻ (mg/L)



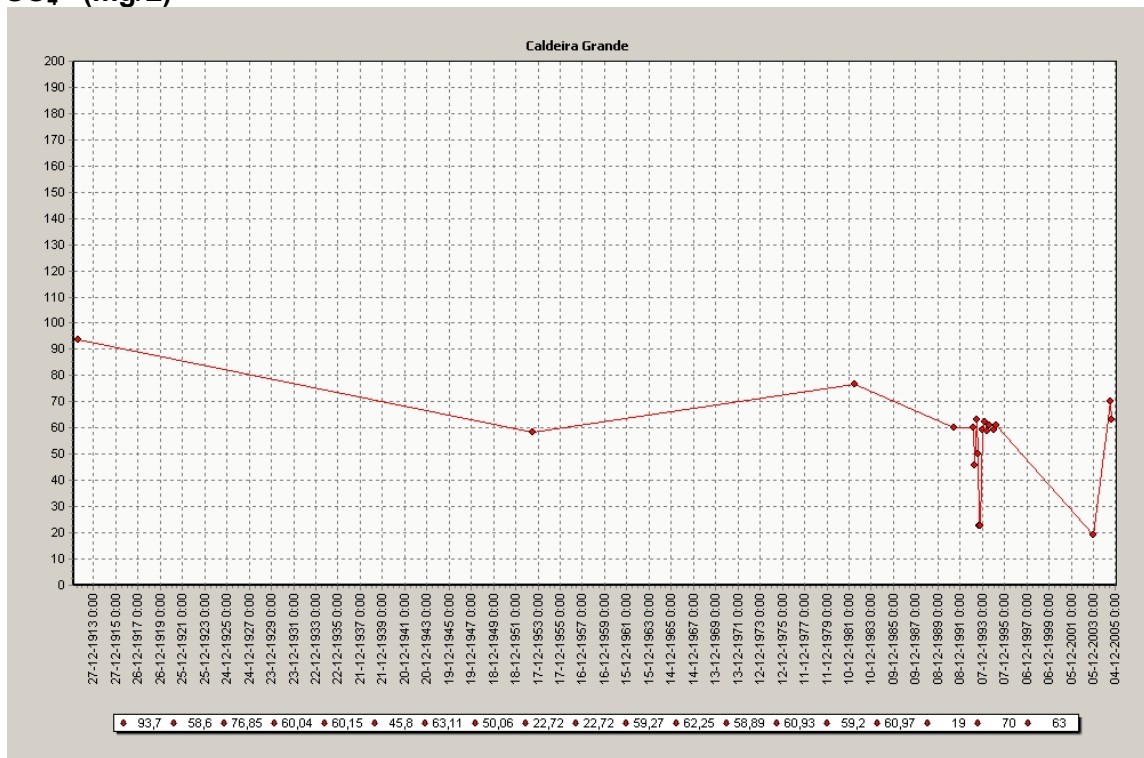
Na⁺ (mg/L)



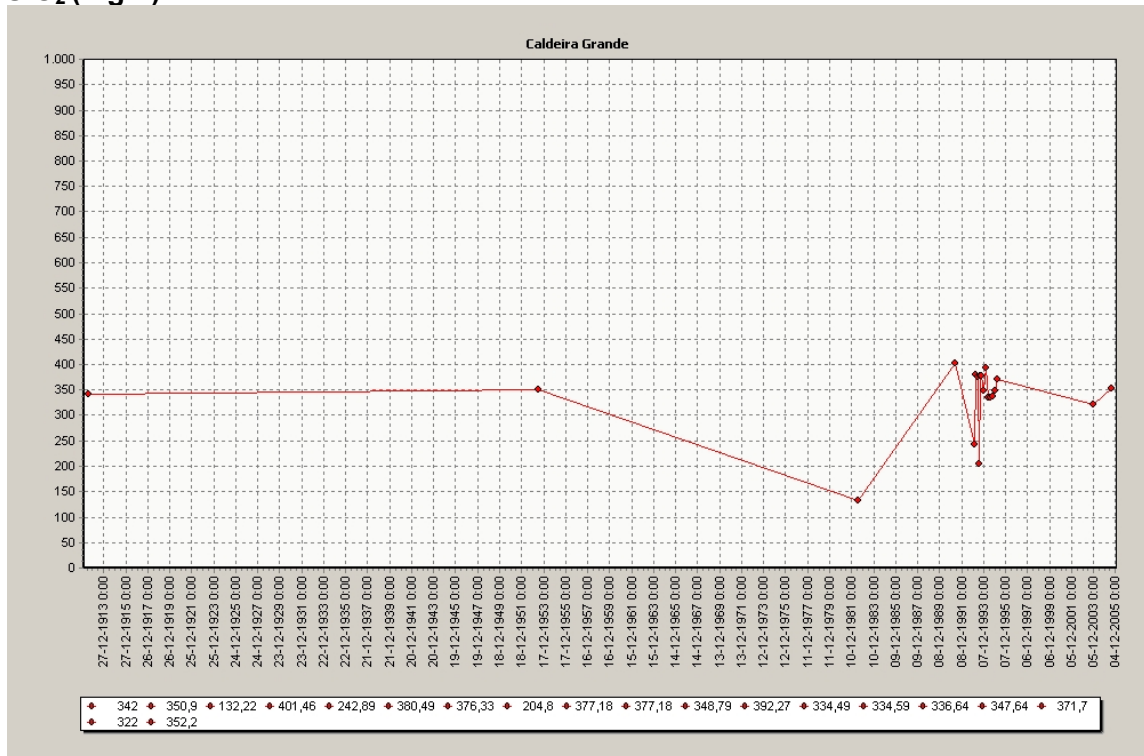
Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)

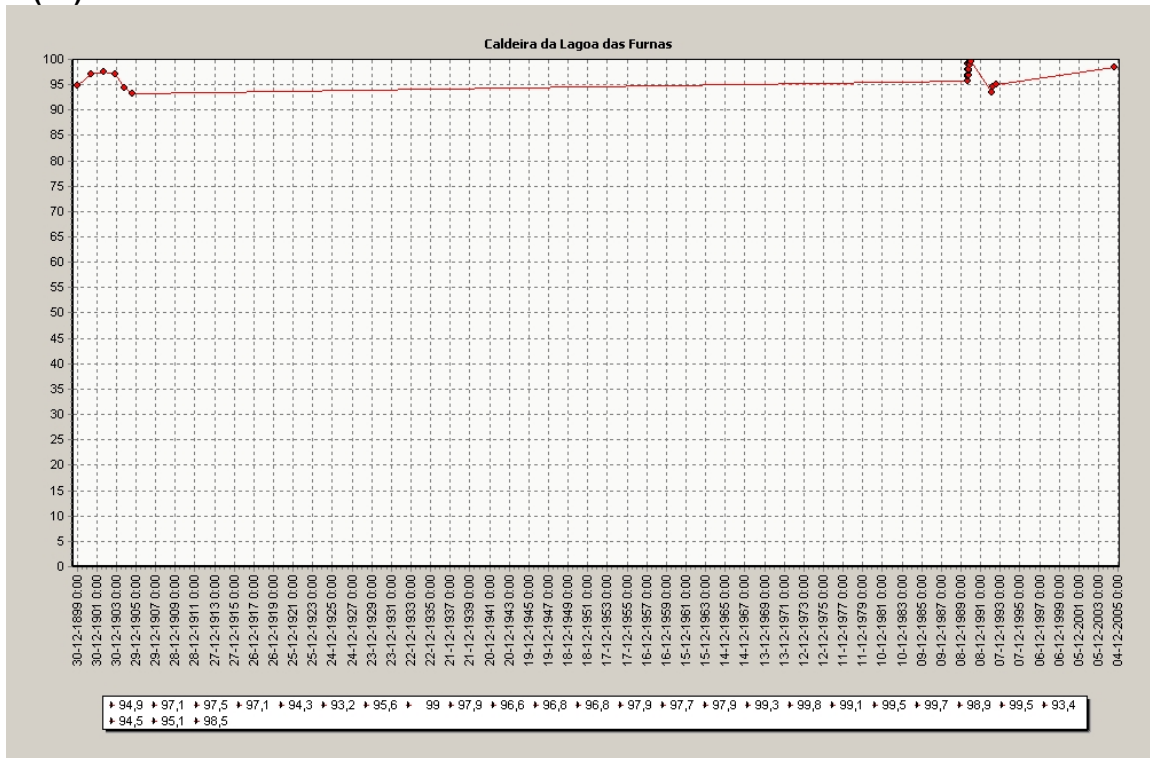


SiO₂ (mg/L)

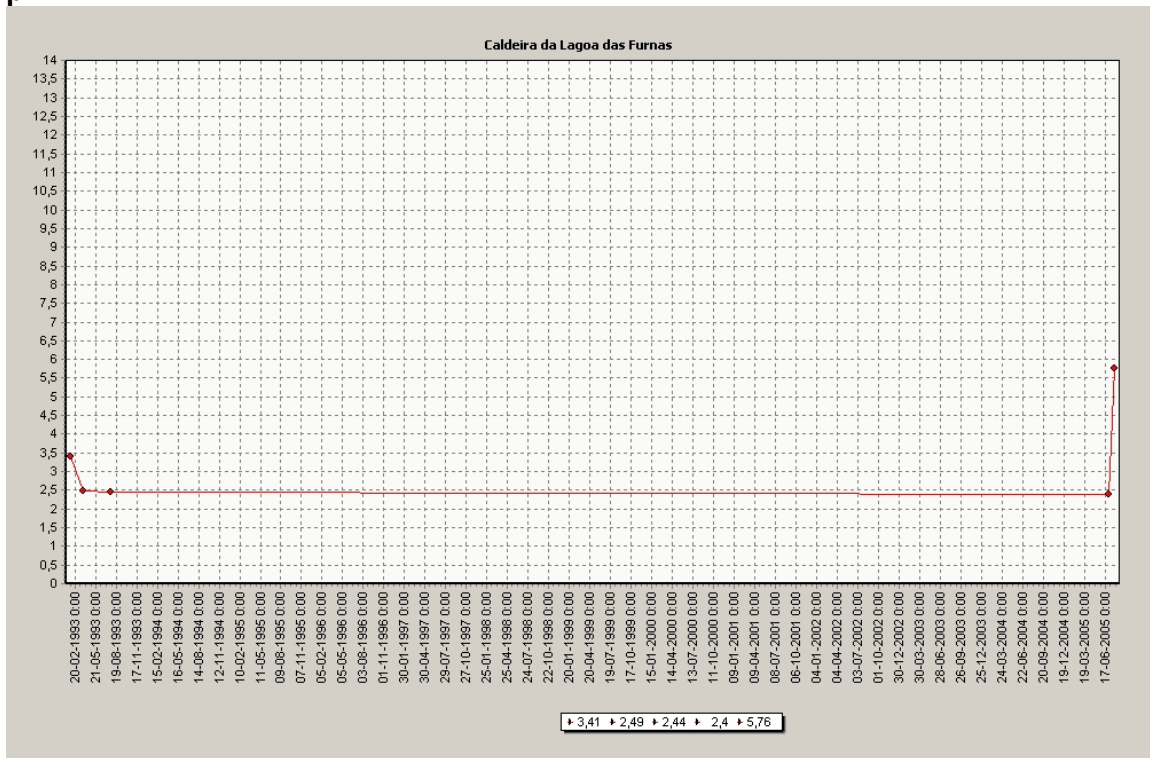


ANEXO XIV – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:
CALDEIRA DA LAGOA DAS FURNAS

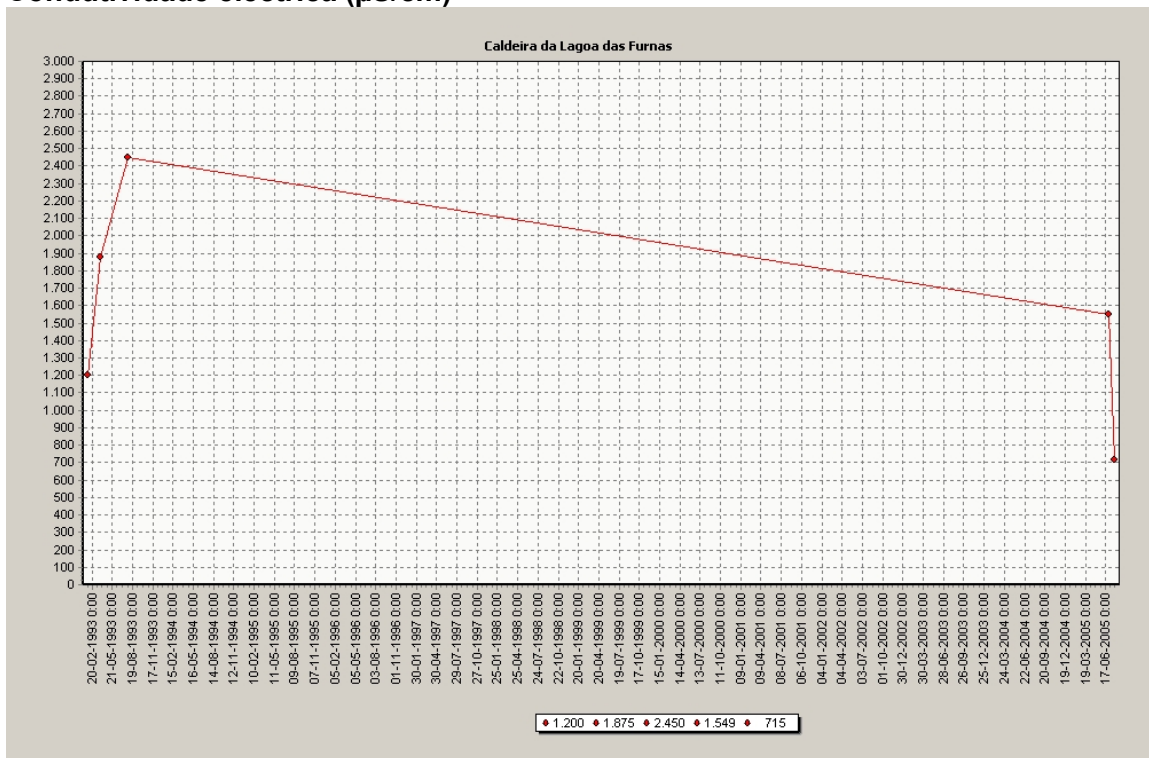
T (°C)



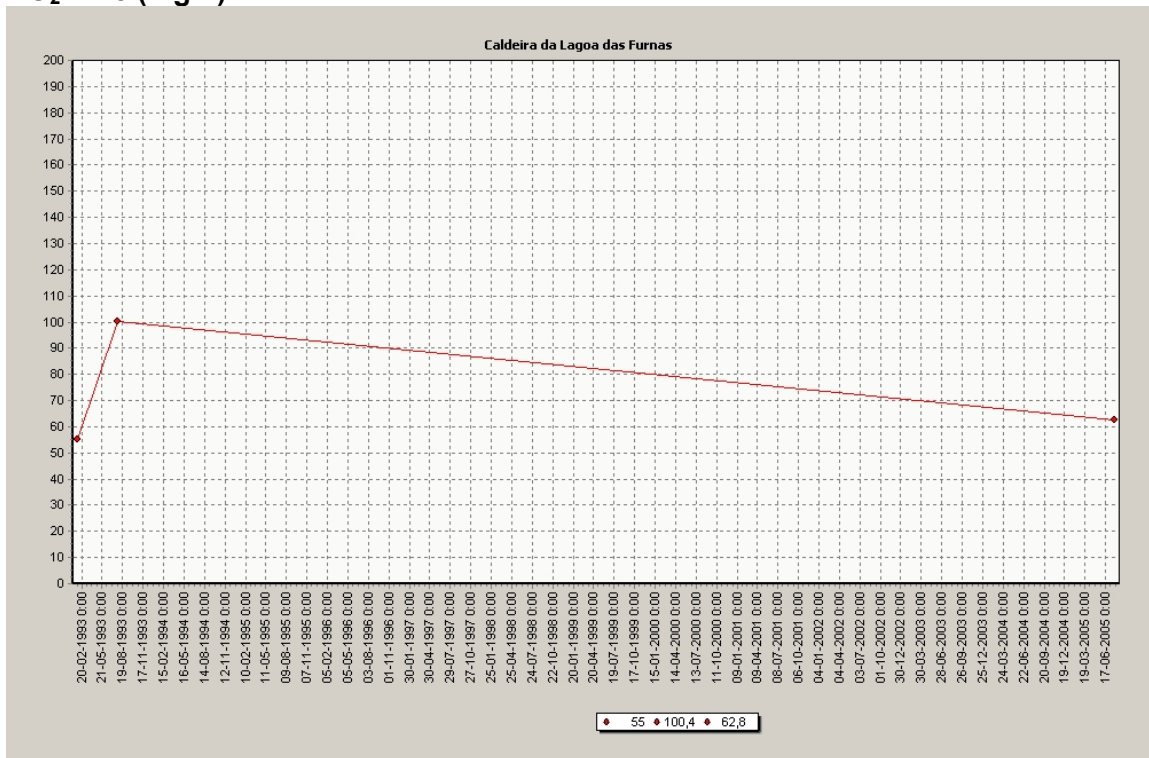
pH



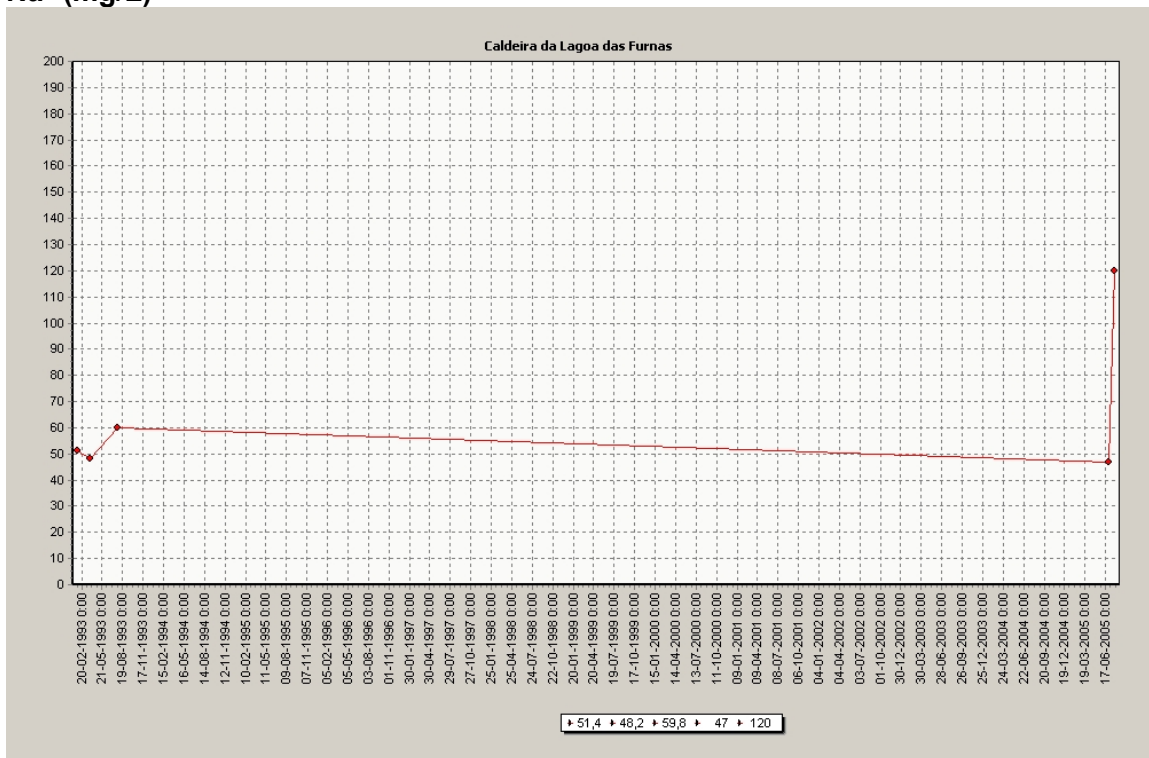
Condutividade eléctrica (µS/cm)



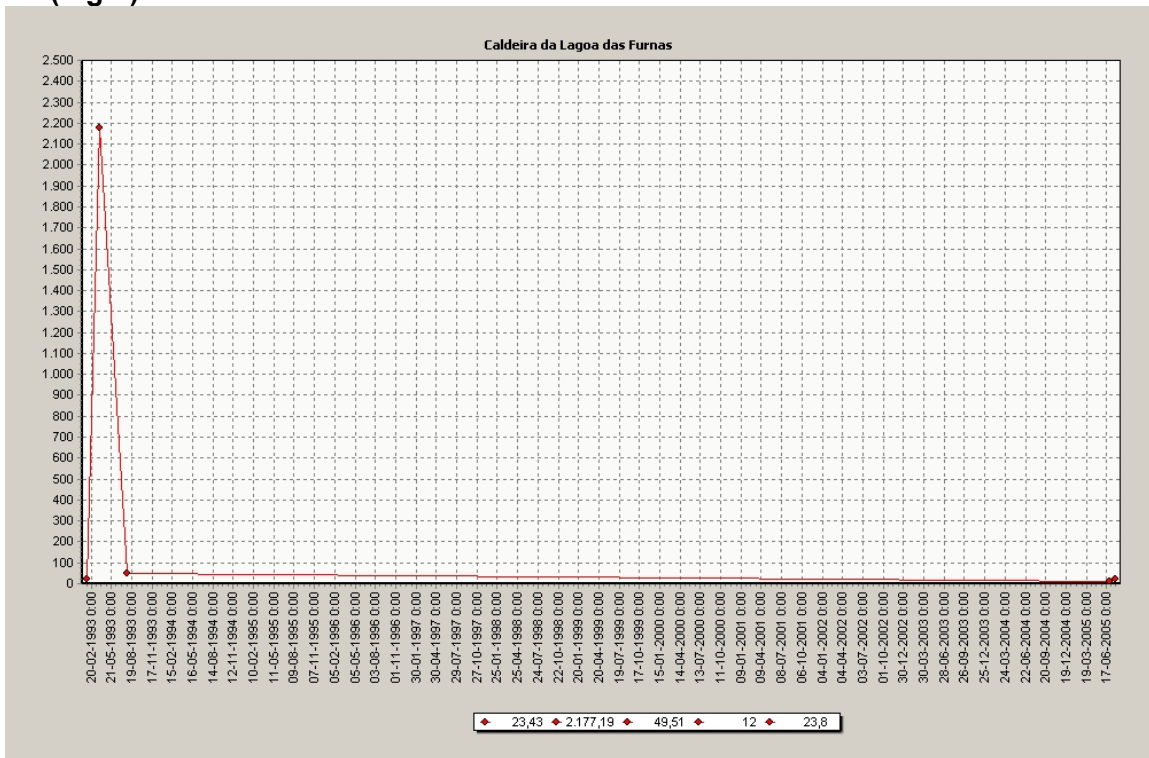
CO₂ livre (mg/L)



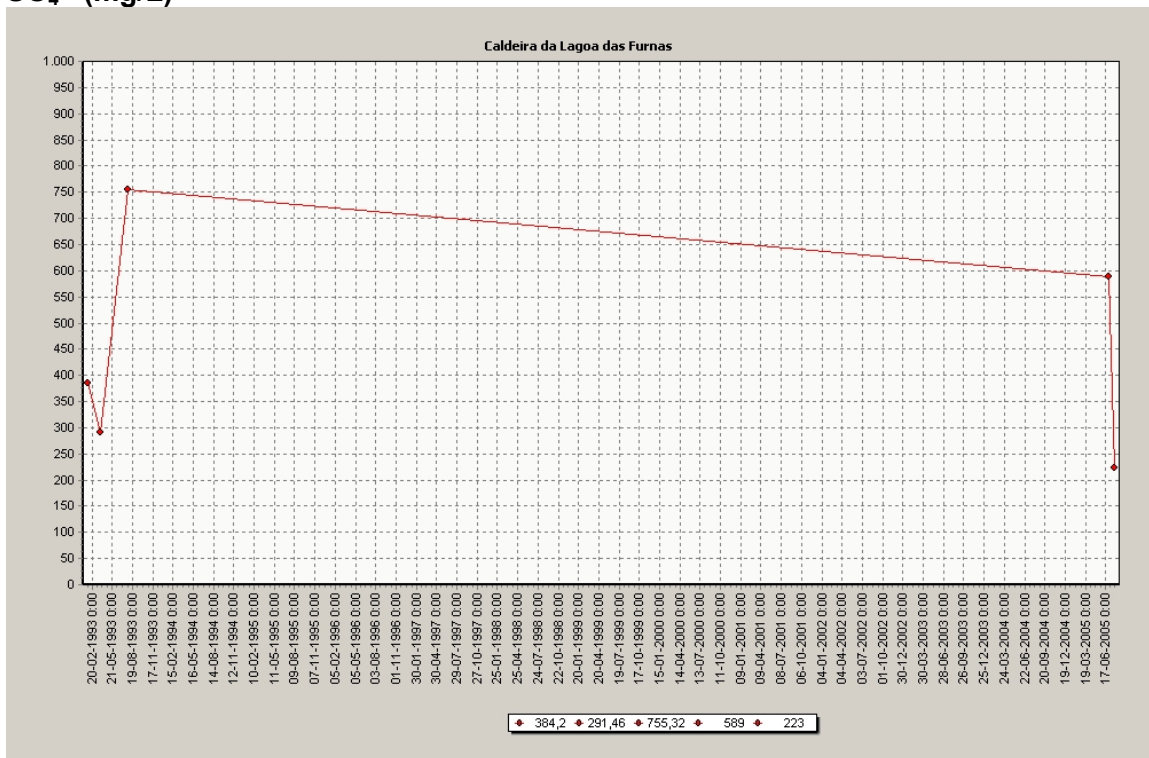
Na⁺ (mg/L)



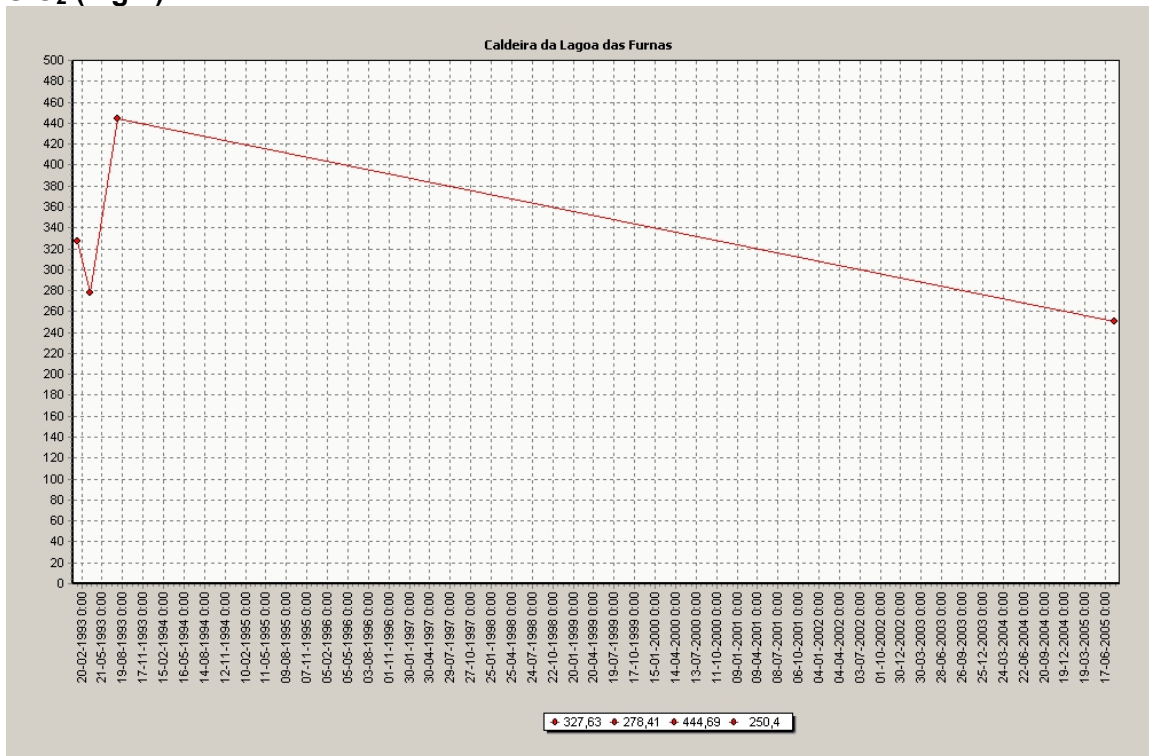
Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)



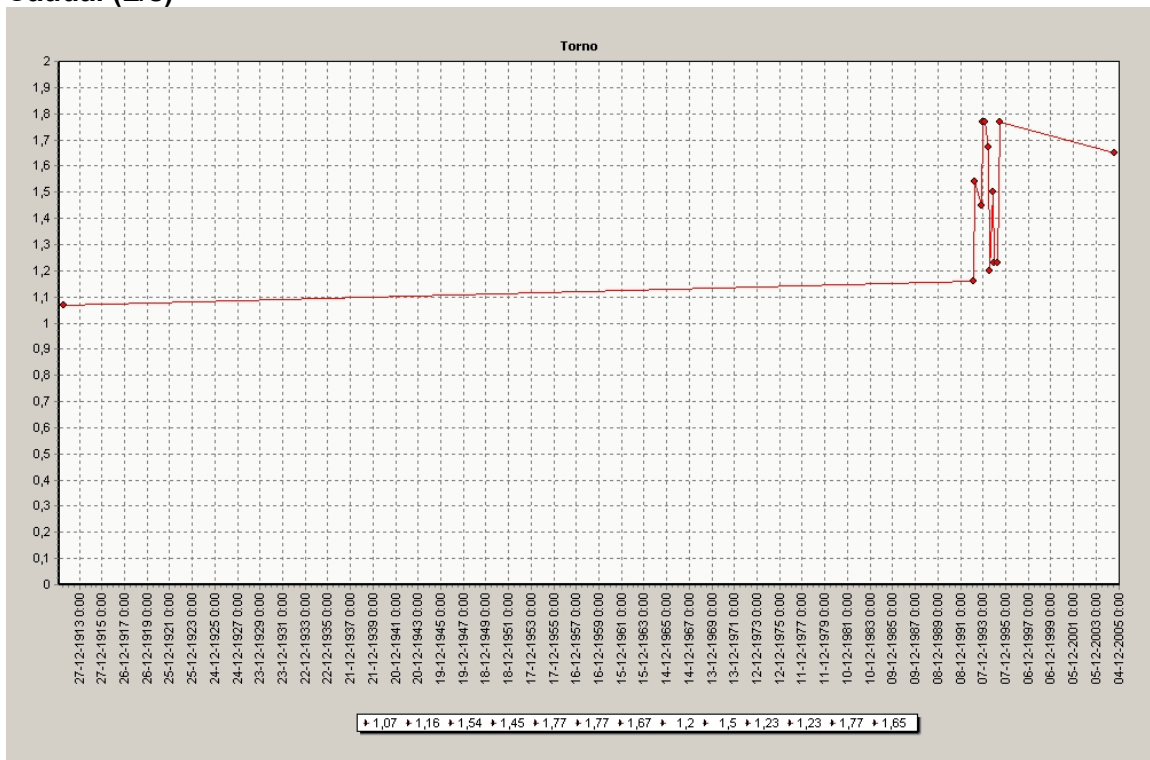
SiO₂ (mg/L)



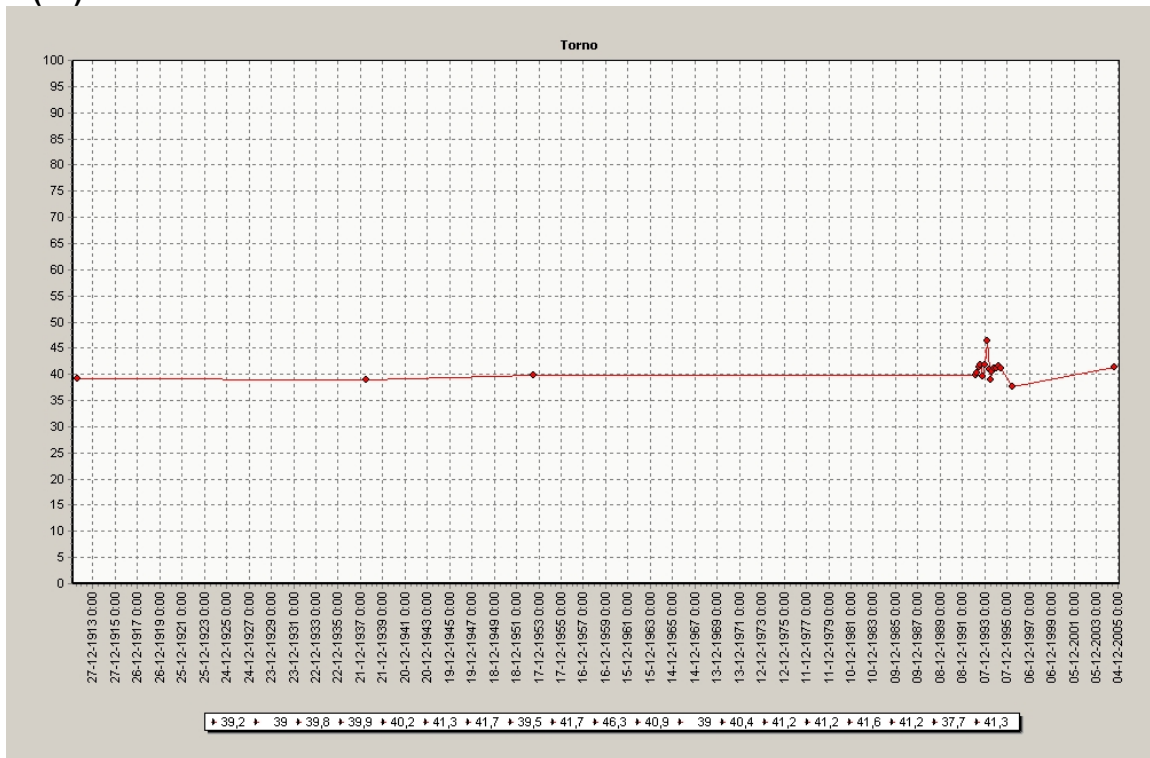
ANEXO XV – MONITORIZAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA:

TORNO

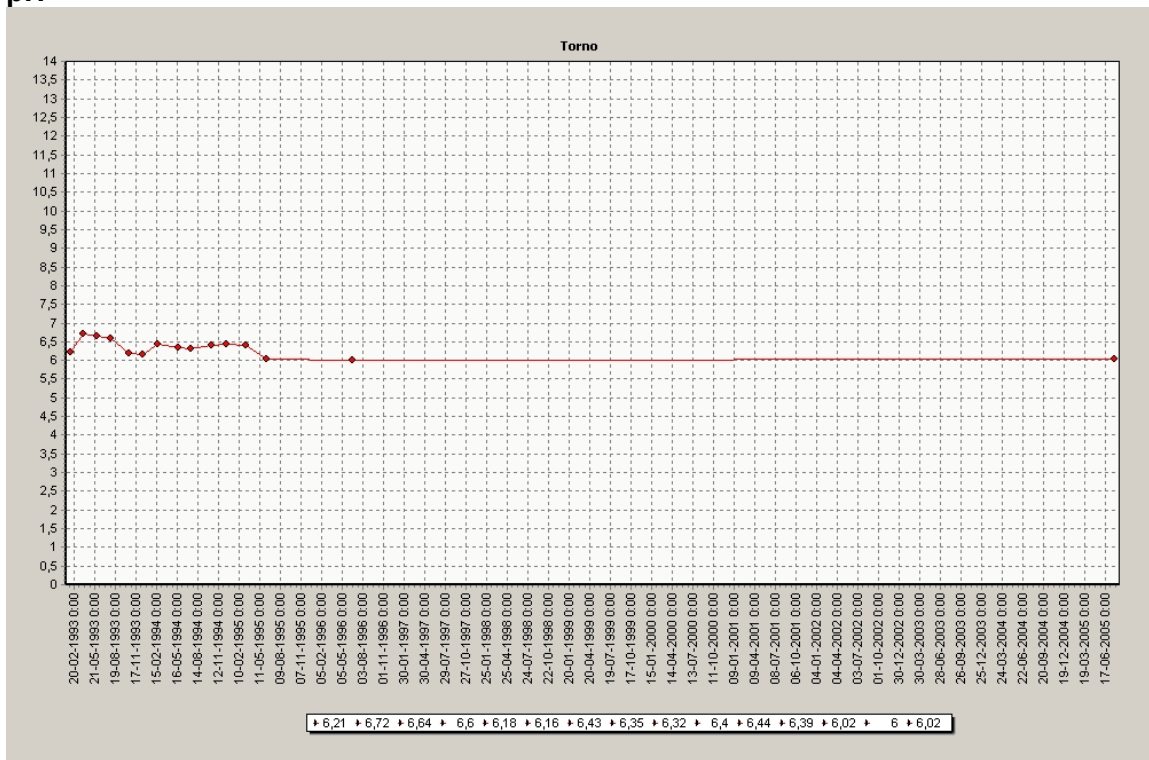
Caudal (L/s)



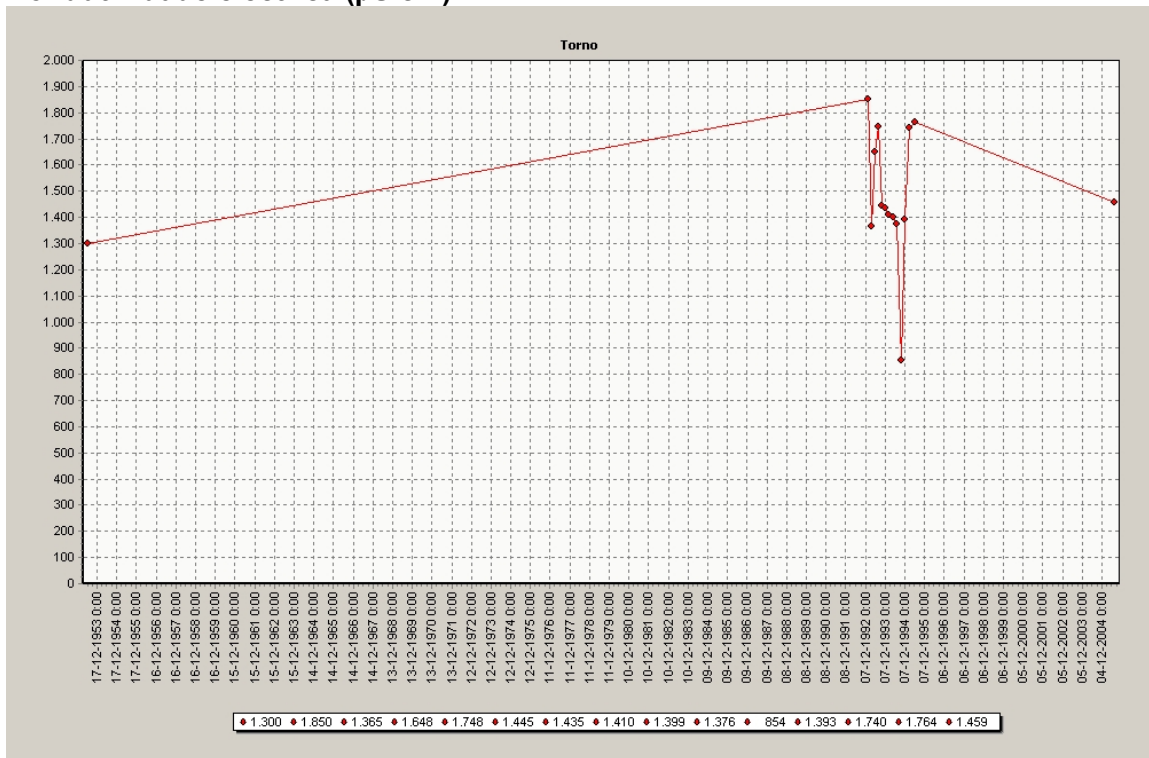
T (°C)



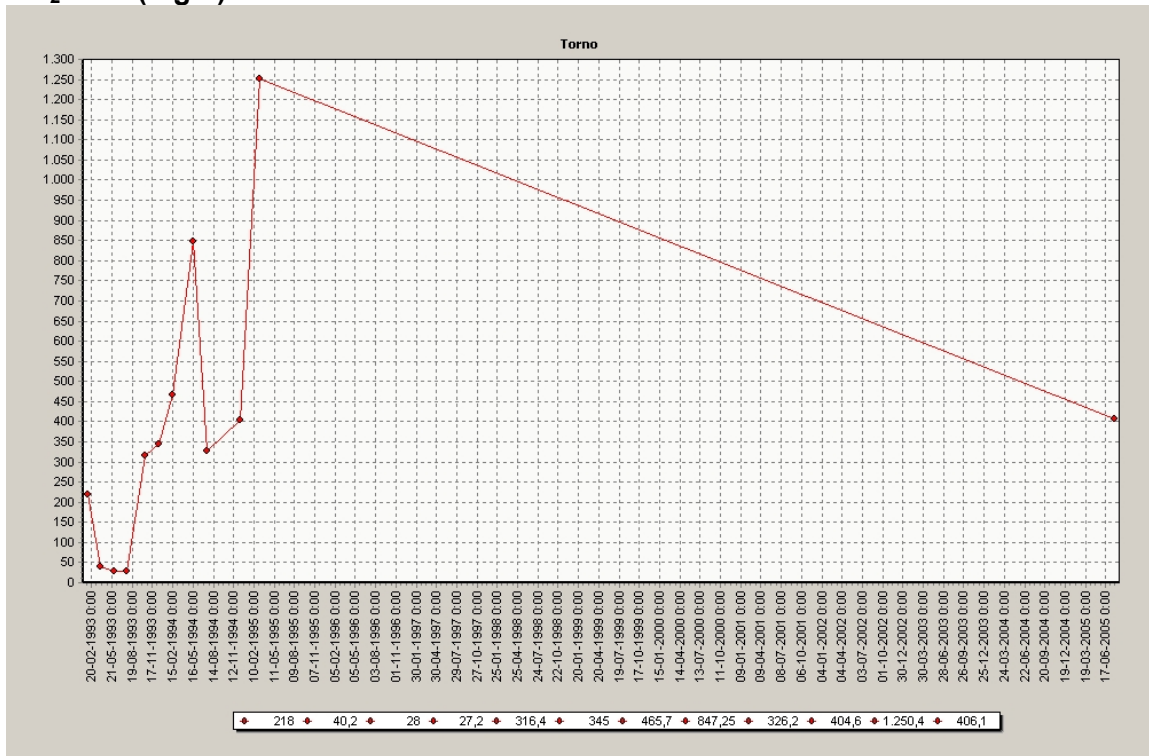
pH



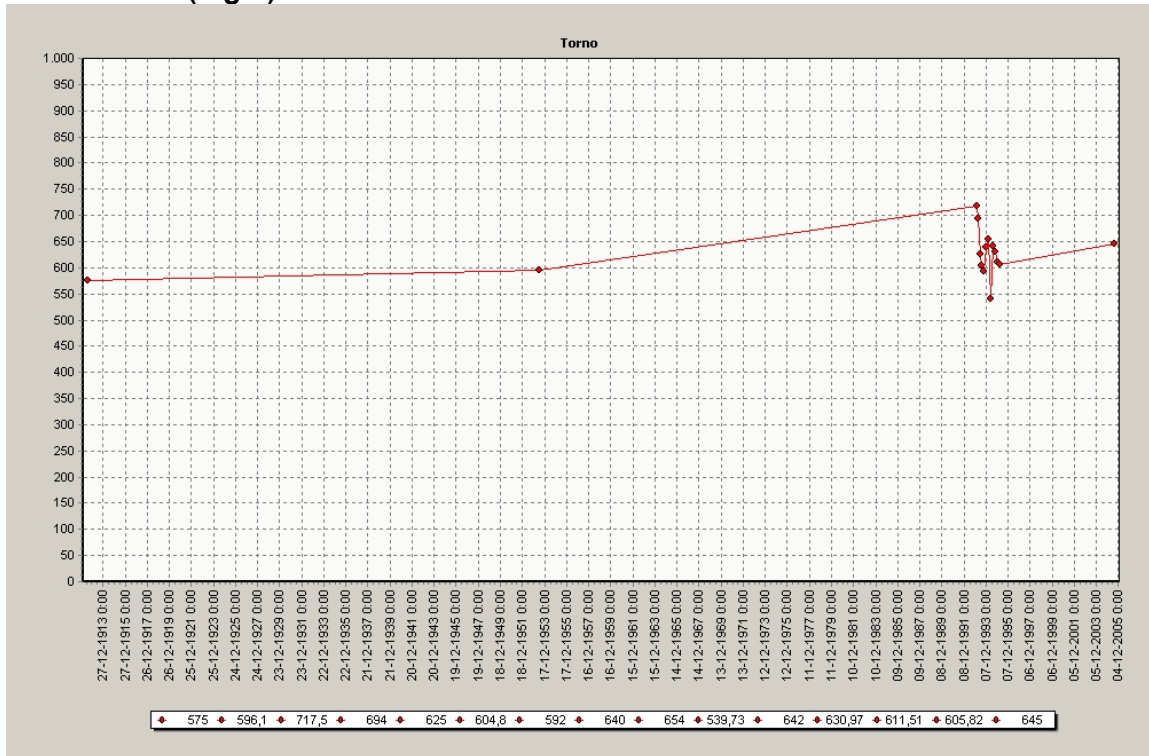
Condutividade eléctrica (µS/cm)



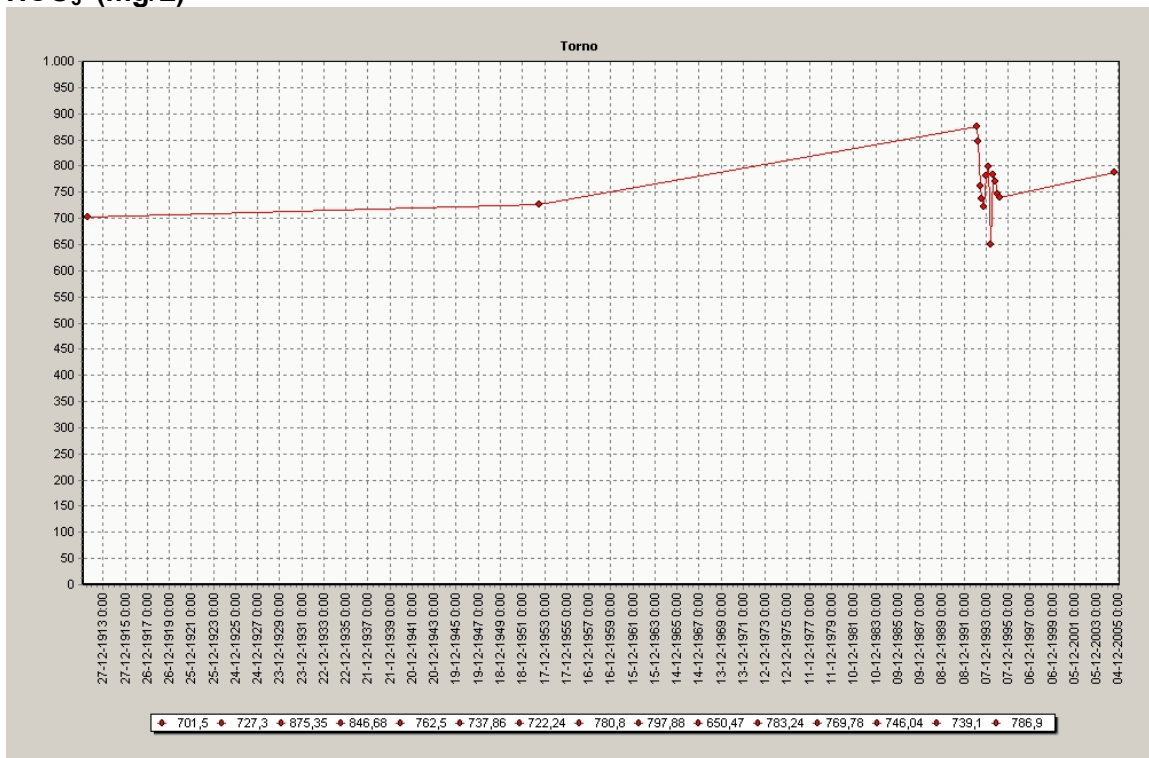
CO₂ livre (mg/L)



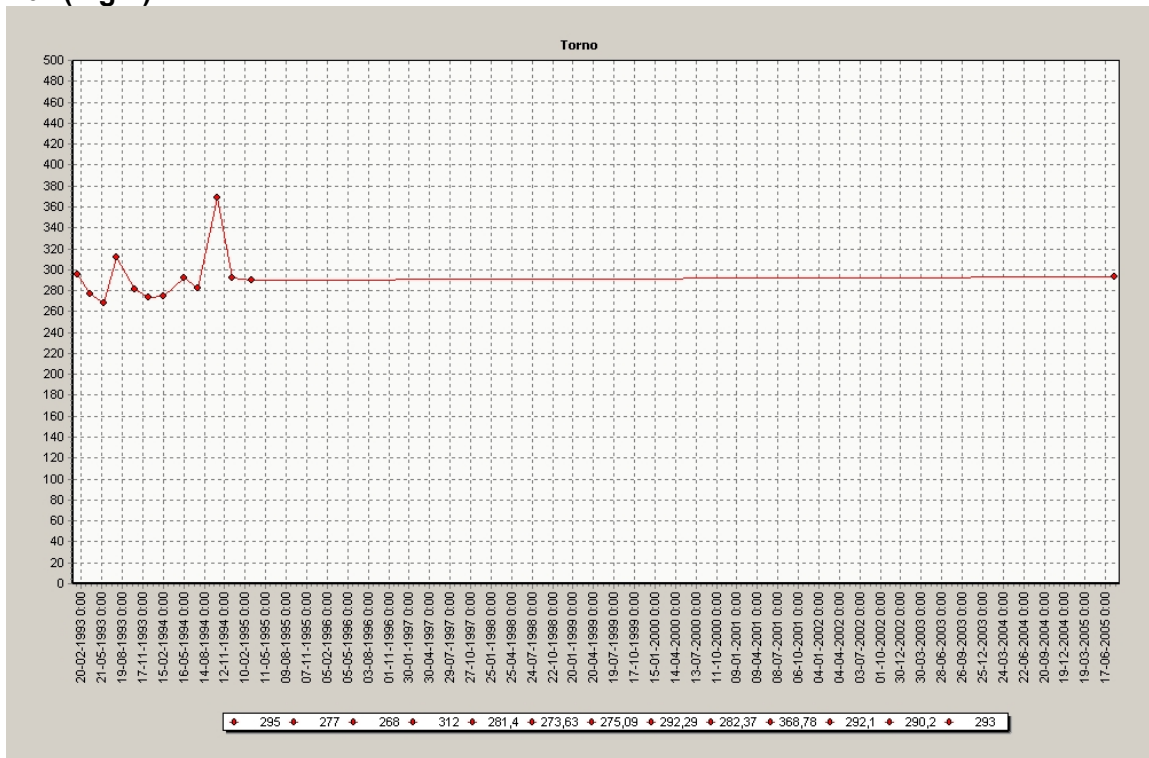
Alcalinidade (mg/L)



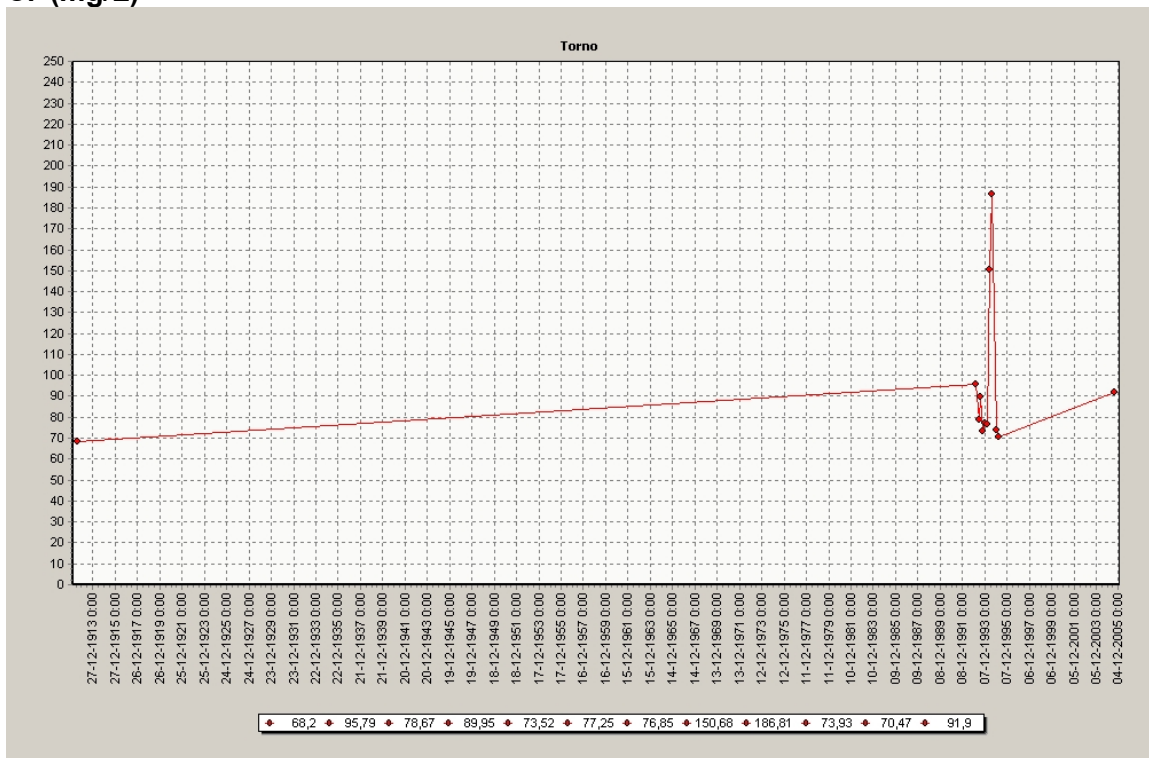
HCO₃⁻ (mg/L)



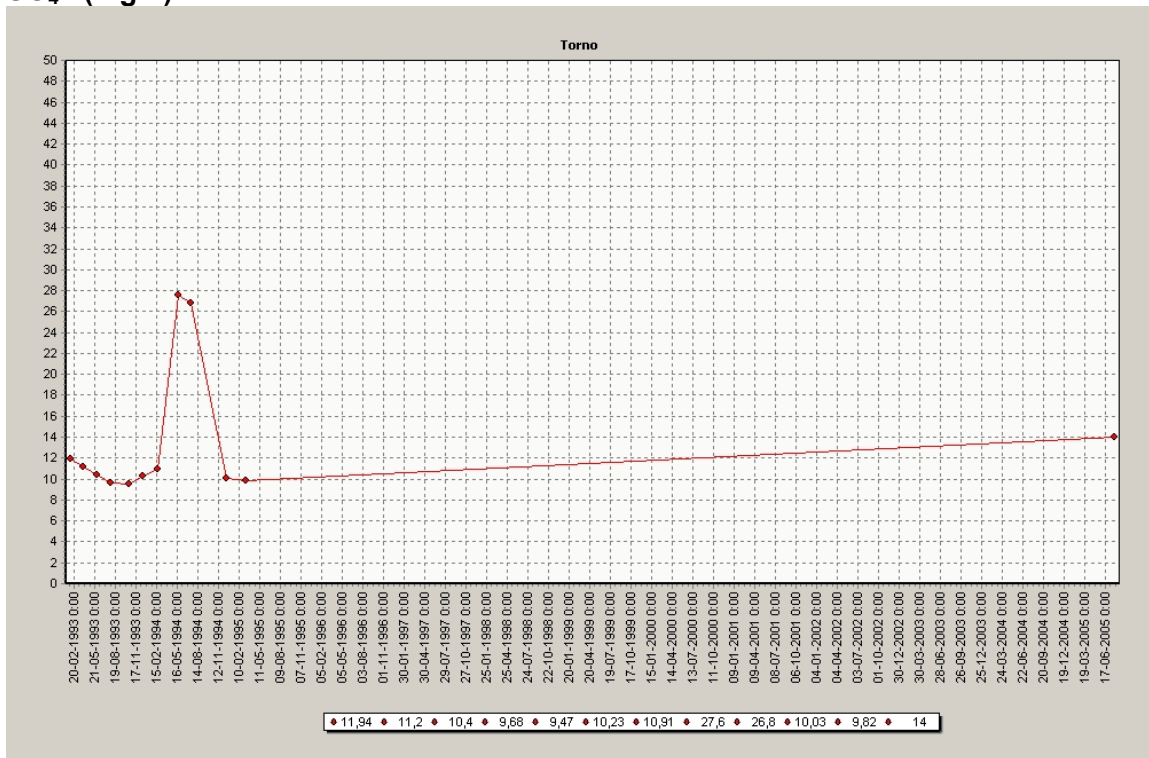
Na⁺ (mg/L)



Cl⁻ (mg/L)



SO₄²⁻ (mg/L)



SiO₂ (mg/L)

