

**DIANA DE JESUS FERREIRA PONTE**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS  
ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS,  
ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
PONTA DELGADA**

**2013**

**DIANA DE JESUS FERREIRA PONTE**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS  
ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS,  
ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)**

**TESE APRESENTADA À UNIVERSIDADE DOS AÇORES PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS**

**ORIENTADORES:  
PROFESSOR DOUTOR NICOLAU WALLENSTEIN  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES**

**PROFESSOR ANGUS DUNCAN  
UNIVERSITY OF BEDFORDSHIRE**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
PONTA DELGADA  
2013**

*À minha mãe*

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XI
AGRADECIMENTOS .....	XIII
PREÂMBULO.....	XV
RESUMO .....	XVII
ABSTRACT .....	XIX
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	1
1.2 ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO E VULCANOLÓGICO.....	3
1.3 ENQUADRAMENTO VULCANOESTRATIGRÁFICO .....	6
1.3.1 Vulcão do Fogo.....	6
1.3.1.1 Geomorfologia e Tectónica.....	6
1.3.1.2 Vulcanoestratigrafia .....	8
1.3.2 Vulcão das Furnas.....	21
1.3.2.1 Geomorfologia e Tectónica.....	21
1.3.2.2 Vulcanoestratigrafia .....	23
<b>2 VULCANOESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>35</b>
2.1 METODOLOGIA .....	35
2.2 TRABALHO DE CAMPO.....	38
2.2.1 Unidade de Base .....	38
2.2.2 Unidade Intermédia.....	44

2.2.2.1	Formação de S. Brás .....	44
2.2.2.2	Formação do Porto Formoso .....	49
2.2.2.3	Formação da Chã das Gatas .....	55
2.2.2.4	Formação da Coroa da Mata .....	60
2.2.2.5	Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A .....	64
2.2.3	Unidade Recente .....	66
2.2.3.1	Formação do Fogo A .....	66
2.2.3.2	Fogo B.....	67
2.2.3.3	Furnas C .....	70
2.2.3.4	Fogo 1563.....	72
<b>3</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>75</b>
3.1	NOTA PRÉVIA.....	75
3.2	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS NA ÁREA DE ESTUDO.....	76
3.2.1	Unidade de Base .....	77
3.2.1.1	Sequência Eruptiva no Porto de Santa Iria.....	77
3.2.1.2	Sequência Eruptiva na Praia da Viola.....	78
3.2.2	Unidade Intermédia.....	81
3.2.2.1	Formação de S. Brás .....	81
3.2.2.2	Formação do Porto Formoso .....	83
3.2.2.3	Formação da Chã das Gatas .....	84
3.2.2.4	Formação da Coroa da Mata .....	88
3.2.2.5	Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A .....	89
3.2.3	Unidade Recente .....	90
3.2.3.1	Depósitos correlacionados .....	90
3.2.3.2	Depósitos não correlacionados.....	93
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>

## **ANEXOS**

### **ANEXO I – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS AFLORAMENTOS DOCUMENTADOS.....A-1**

ANEXO I.1. TABELA COM AS COORDENADAS DOS AFLORAMENTOS DOCUMENTADOS.....A-3

ANEXO I.2. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS AFLORAMENTOS DOCUMENTADOS.....A-5

*Por opção da autora este documento não foi escrito ao abrigo do Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990.*

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização geográfica da ilha de São Miguel, no arquipélago dos Açores.....	1
Figura 1.2 - Localização da área de estudo na costa norte da zona central da ilha de São Miguel (coordenadas, em metros, da zona 26S da quadrícula UTM).....	2
Figura 1.3 - Representação esquemática das principais estruturas que contextualizam o arquipélago dos Açores. NA - Placa Norte Americana; Eu - Placa Euroasiática; Nu - Placa Africana (Núbia); MAR - Crista Médio-Atlântica; RT - Rifte da Terceira <i>s.l.</i> (área a sombreado); EAFZ - Zona de Fractura Este dos Açores; GF - Falha Gloria (adaptado de Hipólito <i>et al.</i> , 2011). .....	3
Figura 1.4 - Identificação dos complexos vulcânicos da ilha de São Miguel. 1 - Complexo Vulcânico das Sete Cidades; 2 - Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 - Complexo Vulcânico do Fogo; 4 - Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 - Complexo Vulcânico das Furnas; 6 - Complexo Vulcânico da Povoação; 7 - Complexo Vulcânico do Nordeste. ....	5
Figura 1.5 - Representação tridimensional da altimetria da região do maciço vulcânico do Fogo (limites baseados em Wallenstein, 1999), elaborada com base na Carta Militar de Portugal, folhas 28, 29, 32 e 33 (IGeoE, 2002) (coordenadas, em metros, da zona 26S da quadrícula UTM).....	6
Figura 1.6 - Aspectos geomorfológicos e tectónicos da região do maciço vulcânico do Fogo (adaptado de Wallenstein, 1999). .....	7
Figura 1.7 - Escala vulcanoestratigráfica geral do Vulcão do Fogo, de acordo com o proposto por Wallenstein (1999). .....	8
Figura 1.8 - Representação do testemunho da sondagem realizada no flanco norte do Vulcão do Fogo em 1973 (adaptado de Muecke <i>et al.</i> , 1974). .....	9
Figura 1.9 - Organização vulcanoestratigráfica do Grupo Superior, de acordo com o proposto por Wallenstein (1999). .....	11
Figura 1.10 - Mapa de isopacas (valores em metros) do depósito da erupção do Fogo de 1563. A linha a tracejado marca o limite para além do qual os autores não encontraram o depósito (adaptado de Walker & Croasdale, 1971). .....	19

Figura 1.11 - Localização da erupção histórica de 1563 na caldeira do Vulcão do Fogo e da erupção histórica de 1563 no Pico do Sapateiro (Pico Queimado), com cartografia das escoadas lávicas produzidas no seu decurso (adaptado de Wallenstein <i>et al.</i> , 1998). .....	20
Figura 1.12 - Representação tridimensional da altimetria da região do maciço vulcânico das Furnas (limites baseados em Wallenstein, <i>com. pess.</i> ), elaborada com base na Carta Militar de Portugal, folhas 29, 30, 33 e 34 (IGeoE, 2002 e 2003). .....	21
Figura 1.13 - Aspectos geomorfológicos e tectónicos da região do maciço vulcânico das Furnas (baseado em dados de Gaspar <i>et al.</i> , 1995; Guest <i>et al.</i> , 1999; Carmo, 2004; Carmo <i>et al.</i> , 2011). .....	22
Figura 1.14 - Escala vulcanoestratigráfica do Vulcão das Furnas, de acordo com o proposto por Guest <i>et al.</i> (1999). .....	23
Figura 1.15 - Cronograma das erupções do Grupo Intermédio do Vulcão das Furnas. Dados de Moore & Rubin (1991), Moore (1991b) e Guest <i>et al.</i> (1999). .....	26
Figura 1.16 - Cronograma das erupções do Grupo Superior do Vulcão das Furnas. Dados de Booth <i>et al.</i> (1978), Moore & Rubin (1991), Queiroz <i>et al.</i> (1995) e Guest <i>et al.</i> (1999). .....	29
Figura 1.17 - Esquema da estratigrafia do depósito Furnas C, com indicação das Unidades U-1 e U-2 (não se encontra à escala) (adaptado de Pacheco, 2001). .....	31
Figura 1.18 - Mapa com a localização dos centros eruptivos das erupções do Grupo Superior do Vulcão das Furnas (adaptado de Cole <i>et al.</i> , 1999). .....	31
Figura 2.1 - Identificação da área de estudo no contexto dos sistemas vulcânicos do Fogo e das Furnas. ....	35
Figura 2.2 - Mapa de localização dos afloramentos documentados na área de estudo, no contexto dos vulcões do Fogo e Furnas e Sistema Vulcânico Fissural do Congro. ....	36
Figura 2.3 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação de S. Brás. ....	47
Figura 2.4 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação do Porto Formoso. ....	53
Figura 2.5 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (Sequência do Calhau do Cabo). .....	56
Figura 2.6 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Sequência da Defeira (Formação da Chã das Gatas). .....	59
Figura 2.7 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação da Coroa da Mata. ....	63
Figura 2.8 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas dos depósitos da Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A. ....	65

Figura 2.9 - Mapa de localização dos afloramentos de depósitos da Formação do Fogo A. ....	67
Figura 2.10 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Fogo B. ....	69
Figura 2.11 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Furnas C. ....	71
Figura 2.12 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Fogo 1563. ....	73
Figura 3.1 - Esquema simplificado das unidades estratigráficas identificadas na região central da costa norte da ilha de São Miguel, organizadas com base na sua idade e principal área de dispersão. Encontram-se em destaque as unidades e formações estratigráficas propostas no presente trabalho. ....	76
Figura 3.2 - Corte geológico esquemático representativo da sequência eruptiva exposta no porto de Santa Iria, Ribeirinha (não se encontra à escala). ....	78
Figura 3.3 - Corte representativo esquemático dos produtos vulcânicos expostos na arriba da praia da Viola, Lomba da Maia (não se encontra à escala). ....	79
Figura 3.4 - Localização da praia da Viola, no contexto geográfico dos vulcões das Furnas e da Povoação. A seta a tracejado representa a provável direcção do fluxo das escoadas piroclásticas que podem ter estado na origem do Ignimbrito da Viola. ....	79
Figura 3.5 - Esquema simplificado da organização estratigráfica das formações geológicas incluídas na Unidade Intermédia do presente trabalho. ....	81
Figura 3.6 - Coluna estratigráfica indicativa da Formação da Chã das Gatas, segundo o descrito por Wallenstein (1999), com a adaptação de Pimentel (2004) e com a organização proposta no presente trabalho. ....	85
Figura 3.7 - Mapa da dispersão das cinzas da erupção no Vulcão dos Capelinhos em Junho de 1958 (Garcia, 1964 <i>in</i> Pacheco, 2001). ....	86
Figura 3.8 - Isopacas (em centímetros) da totalidade do depósito do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (● - Dados do presente trabalho; X - Dados de Wallenstein, 1999). ....	87
Figura 3.9 - Isopacas da espessura total (em metros) da Formação da Coroa da Mata. A cinzento encontra-se identificado o centro emissor e o domo traquítico da Coroa da Mata, de acordo com o proposto por Moore (1991a) e Wallenstein (1999). ....	89
Figura 3.10 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo A (adaptado de Walker & Croasdale, 1971). Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho. ....	91
Figura 3.11 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo B (adaptado de Booth <i>et al.</i> , 1978). CE – Centro emissor. Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho. ....	92

Figura 3.12 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Furnas C (adaptado de Pacheco, 1995). CE – Centro emissor. Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho..... 92

Figura 3.13 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo 1563 (adaptado de Walker & Croasdale, 1971). Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho..... 93

Figura 3.14 - Mapa de isopacas (em metros) do (a) conjunto dos depósitos Furnas A e B (adaptado de Pacheco, 1995); (b) depósito Fogo C (adaptado de Booth *et al.*, 1978); (c) depósito Fogo D (adaptado de Booth *et al.*, 1978); (d) depósito Furnas I (adaptado de Booth *et al.*, 1978). Os pontos correspondem aos locais dos afloramentos documentados no presente trabalho. .... 94

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1.1 - Parte da sequência dos depósitos da Formação dos Fenais da Luz. ....	13
Fotografia 1.2 - Sequência eruptiva da Formação da Ribeira Chã, onde se observa o depósito de pedra pomes do Membro Inferior e o ignimbrito do Membro Superior (fácies soldada e não soldada). ....	15
Fotografia 1.3 - Formação do Fogo A. (a) Depósitos de pedra pomes. A seta indica o depósito de <i>surge</i> que delimita o Membro Inferior do Membro Superior; (b) Ignimbrito do Membro Superior. ....	17
Fotografia 1.4 - Formação do Ignimbrito da Povoação. (a) Pormenor dos <i>fiamme</i> ; (b) Intercalação unidades soldadas-não soldadas. ....	25
Fotografia 2.1 - Aspecto do depósito do Ignimbrito de Santa Iria, exposto próximo do porto de Santa Iria, Ribeirinha. ....	38
Fotografia 2.2 - Ignimbrito exposto no porto de Santa Iria. E.L. – Escoadas lávica; Seq. Ind. – Sequência indiferenciada de natureza pomítica; Ign. – Ignimbrito de Santa Iria. ....	39
Fotografia 2.3 - Vista geral sobre a praia da Viola, Lomba da Maia. ....	39
Fotografia 2.4 - Unidades ignimbríticas expostas na praia da Viola. ....	40
Fotografia 2.5 - Pormenor de ignimbrito exposto na praia da Viola. ....	40
Fotografia 2.6 - Escoadas lávicas traquíticas cobertas por depósitos pomíticos, no Porto Formoso. ....	41
Fotografia 2.7 - Lavas basálticas na costa da freguesia da Maia. ....	41
Fotografia 2.8 - Aspecto da fajã da Maia. ....	42
Fotografia 2.9 - Escoadas de blocos e cinzas da Ladeira da Velha (E.L.V.), Porto Formoso. ....	42
Fotografia 2.10 - Pormenor do depósito de escoada de blocos e cinzas da Ladeira da Velha. ....	43
Fotografia 2.11 - Aspecto do depósito de cinzas endurecidas (em ZC-N19). ....	45
Fotografia 2.12 - Aspecto do depósito de cinzas consolidadas (em ZC-N27). ....	45
Fotografia 2.13 - Pormenor do depósito de cinzas litificadas (em ZC-N22). ....	46

Fotografia 2.14 - Depósito de pedra pomes com vários níveis com gradação granulométrica inversa (em ZC-N17).	50
Fotografia 2.15 - Aspecto do depósito de pedra pomes fina com troncos carbonizados (em ZC-N17).	51
Fotografia 2.16 - Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (em ZC-N13).	55
Fotografia 2.17 - Depósito de pedra pomes com encraves basálticos. (a) Aspecto do depósito no local do corte ZC-N13; (b) Pormenor dos clastos de pedra pomes com encraves de natureza basáltica.	57
Fotografia 2.18 - Aspecto do depósito de cinzas pomíticas com pedra pomes disseminada (em ZC-N13).	58
Fotografia 2.19 - Depósitos da Formação da Coroa da Mata, no local do corte geológico ZC-N15.	60
Fotografia 2.20 - Aspecto dos líticos com brilho iridescente encontrados na Formação da Coroa da Mata.	60
Fotografia 2.21 - Aspecto dos depósitos da Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A (em ZC-N45).	64
Fotografia 2.22 - Aspecto de depósito da Formação do Fogo A no local do corte ZC-N43.	66
Fotografia 2.23 - Pormenor do depósito Fogo B no local do corte ZC-N06.	68
Fotografia 2.24 - Pormenor da estratificação de níveis de cinzas, com ondulações (em ZC-N51).	70
Fotografia 2.25 - Aspecto do depósito Fogo 1563 no local do corte ZC-N23.	72
Fotografia 3.1 - Amostra do depósito de cinzas litificadas da Formação de S. Brás.	81
Fotografia 3.2 - Depósito constituído por clastos de composição intermédia, intercalados por níveis de pedra pomes (exposto em ZC-N57).	82
Fotografia 3.3 - Tufo hidromagmático identificado no Porto Formoso, no local do corte ZC-N21.	86

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Lista e características gerais das formações geológicas, com depósitos ignimbríticos associados ao Vulcão das Furnas, definidas por Guest <i>et al.</i> (1999). Dados e datações de Moore (1991a), Duncan <i>et al.</i> (1999) e Guest <i>et al.</i> (1999). .....	80
---	----

## **AGRADECIMENTOS**

A realização da presente dissertação foi possível graças a diversas pessoas e instituições, a quem quero agradecer:

- Ao Departamento de Geociências da Universidade dos Açores e ao Centro de Vulcanologia e Avaliação de Riscos Geológicos pela possibilidade de realização do presente mestrado e pelos meios concedidos para a realização do trabalho;

- Ao professor Nicolau Wallenstein, orientador da dissertação, pela sua disponibilidade, pelas discussões empreendidas e sugestões que forneceu ao presente trabalho, e também ao professor Angus Duncan pela discussão de ideias e sugestões;

- Um agradecimento muito especial aos meus pais pelo seu incansável apoio e por sempre acreditarem em mim, e aos meus irmãos Márcia, Daniel e Rogério por toda a ajuda e apoio. Um agradecimento especial à Márcia pelo incentivo nesta etapa e ajuda na revisão dos textos e ao Daniel pela companhia no trabalho de campo;

- Ao Paulo Guilherme pelo seu incentivo e apoio constantes nesta etapa, pela sua disponibilidade, paciência e companhia no trabalho de campo.

Obrigado a todos.

## PREÂMBULO

O enquadramento geodinâmico e a génese vulcânica do arquipélago dos Açores tem determinado a realização de inúmeros trabalhos de investigação, especialmente dirigidos para a caracterização dos seus sistemas vulcânicos e avaliação dos riscos naturais a eles associados.

A ilha de São Miguel, formada por diferentes sistemas vulcânicos, tem sido alvo de trabalhos de índole vulcanológica dedicados, essencialmente, ao estudo da história eruptiva dos seus sistemas vulcânicos activos: Vulcão das Sete Cidades (*e.g.* Booth *et al.*, 1978; Queiroz, 1997), Vulcão do Fogo (*e.g.* Walker & Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999), Vulcão das Furnas (*e.g.* Booth *et al.*, 1978; Cole *et al.*, 1995, 1999; Duncan *et al.*, 1999; Guest *et al.*, 1999) e Sistema Vulcânico Fissural dos Picos (*e.g.* Booth *et al.*, 1978; Ferreira, 2000; Gomes, 2013).

A constatação da existência de uma lacuna, no que concerne à estratigrafia de pormenor, na área que se desenvolve entre os maciços vulcânicos do Fogo e das Furnas, na região central da ilha de São Miguel, resultaram na proposta da elaboração de um contributo para o estudo da estratigrafia neste sector da ilha.

A tese que se apresenta, realizada no âmbito do Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos, pretende apenas ser mais uma contribuição para o conhecimento das relações estratigráficas numa área de transição entre os vulcões do Fogo e das Furnas, na ilha de São Miguel. No caso vertente, a análise efectuada centra-se nas manifestações vulcânicas subaéreas explosivas, de natureza pomítica, que têm marcado a história recente do vulcanismo no sector central da ilha de São Miguel, através do estudo das sequências eruptivas expostas na costa norte da zona central da ilha.

A presente tese encontra-se organizada em três capítulos. No primeiro capítulo - Introdução - é feito o enquadramento geográfico e geodinâmico do arquipélago dos Açores, o enquadramento vulcanológico da ilha de São Miguel e vulcanoestratigráfico dos vulcões do Fogo e das Furnas, com uma revisão sumária das principais estruturas morfotectónicas e estratigrafia já descritas por outros autores.

No segundo capítulo - Vulcanoestratigrafia - apresentam-se a metodologia utilizada no campo, os vários elementos recolhidos no decurso dos estudos estratigráficos realizados no âmbito do presente

trabalho, nomeadamente perfis estratigráficos, correlações estratigráficas e fotografias e descrevem-se os diferentes cortes representativos das formações geológicas consideradas.

No terceiro capítulo - Discussão dos Resultados - integram-se os dados disponíveis em trabalhos já publicados sobre os vulcões do Fogo e das Furnas com os dados obtidos no decorrer do presente estudo, apresenta-se uma proposta de definição da vulcanoestratigrafia na costa norte da zona central da ilha de São Miguel e estabelecem-se algumas relações estratigráficas, com o intuito de contribuir para o conhecimento da história eruptiva dos vulcões do Fogo e das Furnas.

Por fim, nas Considerações Finais apresenta-se o resumo dos principais resultados, com algumas conclusões e considerações finais do trabalho, e apontam-se sugestões para o desenvolvimento de possíveis trabalhos futuros a realizar neste domínio na ilha de São Miguel.

Em anexo é disponibilizado o mapa de localização e uma listagem das coordenadas dos afloramentos documentados.

## RESUMO

O arquipélago dos Açores situa-se no oceano Atlântico Norte, na intersecção das placas litosféricas Norte Americana, Euroasiática e Africana, cuja geodinâmica proporcionou a origem vulcânica das suas ilhas. A ilha de São Miguel edificou-se em diversas fases, com a formação de sistemas vulcânicos centrais e fissurais que deram origem a uma grande diversidade de produtos variando desde as composições mais básicas às ácidas.

Neste contexto, os vulcões do Fogo e das Furnas são dois dos três vulcões centrais activos da ilha de São Miguel, formando, em conjunto com o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, a parte central da ilha. Os edifícios do Fogo e das Furnas formaram-se e evoluíram num registo de grande diversidade de estilos eruptivos, materializados quer em actividade associada ao vulcanismo de natureza basáltica, presente no vulcanismo basal em escudo e/ou posteriormente na actividade eruptiva essencialmente desenvolvida nos seus flancos, quer no vulcanismo de natureza mais evoluída, com a produção de lavas e actividade explosiva de natureza traquítica, essencialmente associada às caldeiras daqueles vulcões.

A estratigrafia da costa norte da zona central da ilha de São Miguel tem sido essencialmente estudada no contexto do Vulcão do Fogo. Por outro lado, os estudos da estratigrafia do Vulcão das Furnas têm-se concentrado, essencialmente, na zona das suas caldeiras e do seu flanco sul. A abertura de novas estradas no norte da ilha possibilitou a exposição de novos cortes geológicos, passíveis de documentação estratigráfica mais detalhada.

O presente trabalho teve como objectivo principal a documentação e o estabelecimento de correlações estratigráficas na costa norte da zona central da ilha de São Miguel, de modo a tentar contribuir para um maior conhecimento da relação entre as estratigrafias dos vulcões do Fogo e das Furnas, neste sector da ilha.

Documentou-se, em mais de sete dezenas de cortes geológicos, uma grande diversidade de produtos vulcânicos que, com base nas interpretações efectuadas por outros autores para os vulcões do Fogo e das Furnas e nas informações recolhidas neste trabalho, permitiu um melhor entendimento da estratigrafia desta região. Neste sentido, propôs-se uma organização estratigráfica em três unidades

principais para a área de estudo, as quais foram devidamente enquadradas no âmbito das estratigrafias anteriormente propostas para os vulcões do Fogo e das Furnas.

De um modo geral e nesta região, os produtos vulcânicos de natureza ácida são predominantes quer sobre a forma de escoadas lávicas, quer de depósitos piroclásticos. Nas zonas costeiras observam-se unidades ignimbríticas importantes: Ignimbrito de Santa Iria e Ignimbrito da Viola. As escoadas lávicas basálticas têm maior representatividade no sector leste da área estudada, a partir da freguesia de S. Brás.

Foi possível complementar os dados estratigráficos das Formações do Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata, definidas por Wallenstein (1999) e propor uma nova unidade vulcanoestratigráfica: a Formação de S. Brás.

Na área em estudo foram identificados depósitos, descritos como pertencentes aos últimos 5 000 anos da história dos vulcões do Fogo e das Furnas, tendo ainda sido caracterizados outros depósitos que não foi possível identificar, mas que foram igualmente enquadrados como de menor idade do que a Formação do Fogo A.

## **ABSTRACT**

The Azores archipelago is located in the North Atlantic Ocean, at the intersection of the North American, Eurasian and African lithospheric plates and these geodynamics explain the volcanic origin of the islands. São Miguel island was built in several stages, with the formation of central and fissural volcanic systems that gave rise to a wide diversity of products ranging from basic to acidic compositions.

The Fogo and Furnas volcanoes are two of the three active central volcanoes on São Miguel and together with the Congro Volcanic Fissural System constitute the central part of the island. Fogo and Furnas have displayed a wide range of eruptive styles, with volcanism of basaltic nature, displayed in the basal shield volcano and on their flanks activity or in volcanism of more evolved nature, with the origin of lavas and explosive activity of trachytic nature, mainly associated with the calderas.

The stratigraphy of the northern central coast of São Miguel island has been mainly studied in the context of the Fogo Volcano. Whereas studies of the stratigraphy of the Furnas Volcano have concentrated essentially in its calderas area and southern flank. The opening of new roads in the north of the island, have created new exposures of geological sections, allowing more detailed stratigraphic documentation.

The present work had as a main objective the establishment and documentation of stratigraphic correlations in the northern central coast of São Miguel island, in an attempt to contribute to a better understanding of the inter-relationships between the stratigraphies of Fogo and Furnas volcanoes in this sector of the island.

A wide variety of volcanic products have been documented in more than seventy geological sections, building on the interpretations made by other authors for the Fogo and Furnas volcanoes, the data from these new deposits allow a fuller understanding of the stratigraphy of this region. Three main stratigraphic units are proposed for the study area, within the framework of the stratigraphies previously proposed for the Fogo and Furnas volcanoes.

In this region and in general the volcanic products of acidic nature are prevalent, in the form of lava flows or pyroclastic deposits. In coastal areas there are important ignimbrite units: Ignimbrito de

Santa Iria and Ignimbrito da Viola. Basaltic lava flows have a more important presence in the eastern sector of the studied area, away from the parish of S. Brás.

It was possible to complement the stratigraphic data of the Porto Formoso, Chã das Gatas and Coroa da Mata formations, defined by Wallenstein (1999) and propose a new stratigraphic unit: the S. Brás Formation.

In this area deposits of the last 5 000 years were identified which can be related to the published stratigraphies for this period of Fogo and Furnas volcanoes. Other deposits younger than Fogo A were documented which could not be correlated with known events.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

As ilhas do arquipélago dos Açores localizam-se no Atlântico Norte dispostas segundo a direcção WNW-ESE ao longo de uma faixa de cerca de 600 km de comprimento, entre as latitudes 39° 43' e 36° 55' N e as longitudes 31° 16' e 24° 46' W. O arquipélago compreende nove ilhas, agrupadas geograficamente em três grupos, (1) o grupo ocidental com as ilhas Corvo e Flores, (2) o grupo central que engloba as ilhas Terceira, Graciosa, São Jorge, Pico e Faial, e (3) o grupo oriental constituído pelas ilhas São Miguel e Santa Maria.

Com uma área de cerca de 745 km<sup>2</sup> a ilha de São Miguel é a maior dos Açores e com um comprimento e largura máximos de, respectivamente, 62 e 16 km, dispõe-se entre as latitudes 37° 41' e 37° 55' N e as longitudes 25° 52' e 25° 07' W, segundo a direcção preferencial E-W (Figura 1.1).

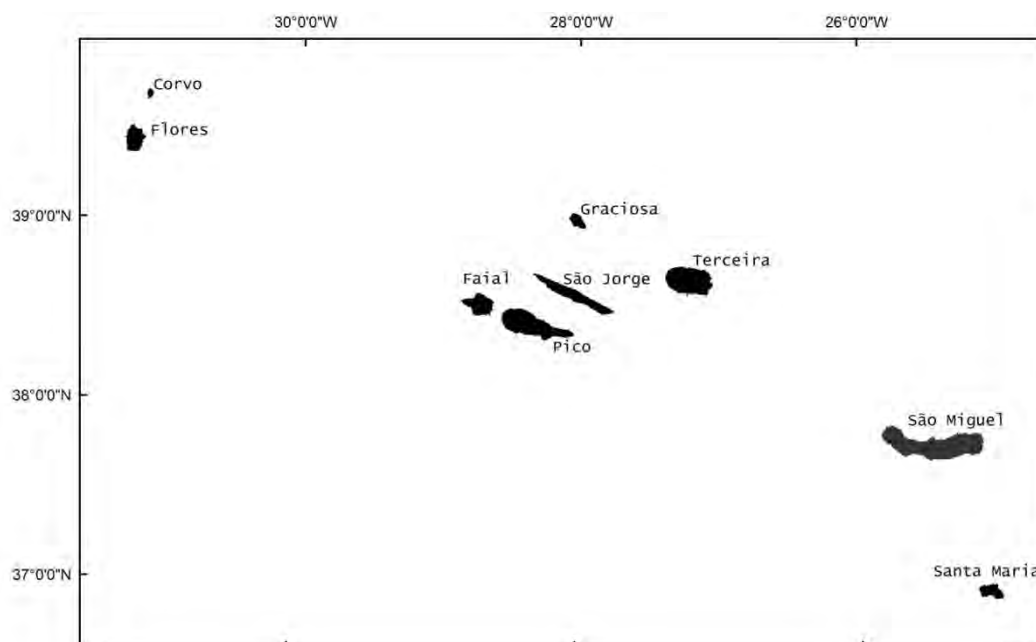


Figura 1.1 - Localização geográfica da ilha de São Miguel, no arquipélago dos Açores.

## 1. INTRODUÇÃO

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

A área proposta para estudo no âmbito do presente trabalho situa-se na costa norte da zona central da ilha de São Miguel, correspondendo à área entre as freguesias da Ribeirinha e da Lomba da Maia, concelho da Ribeira Grande (Figura 1.2).

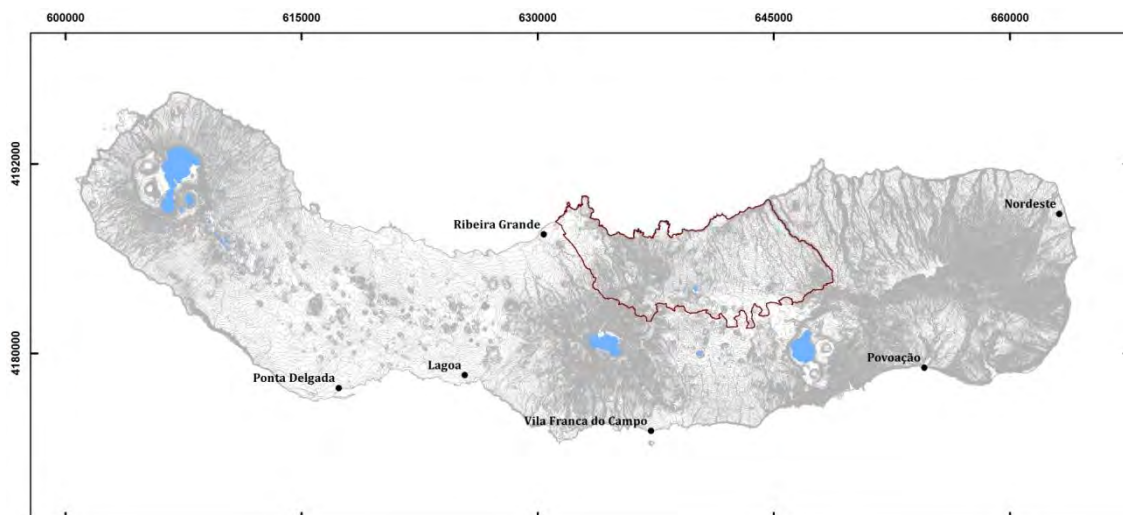


Figura 1.2 - Localização da área de estudo na costa norte da zona central da ilha de São Miguel (coordenadas, em metros, da zona 26S da quadrícula UTM).

## 1.2 ENQUADRAMENTO GEODINÂMICO E VULCANOLÓGICO

As nove ilhas do arquipélago dos Açores desenvolvem-se a partir da designada Plataforma dos Açores, anomalia batimétrica definida pela curva dos 2 000 m (Needham & Francheteau, 1974). Em termos geotectónicos o arquipélago localiza-se na zona de confluência das placas litosféricas Norte Americana, Euroasiática e Africana, na designada Junção Tripla dos Açores (e.g. Laughton & Whitmarsh, 1974; Searle, 1980). Esta é, portanto, uma região complexa do ponto de vista tectónico, sendo as principais estruturas a Crista Médio-Atlântica, o Rifte da Terceira (Machado, 1959), a Falha Gloria (Laughton *et al.*, 1972) e a Zona de Fractura Este dos Açores (Krause, 1965) (Figura 1.3), descritas sucintamente de seguida.

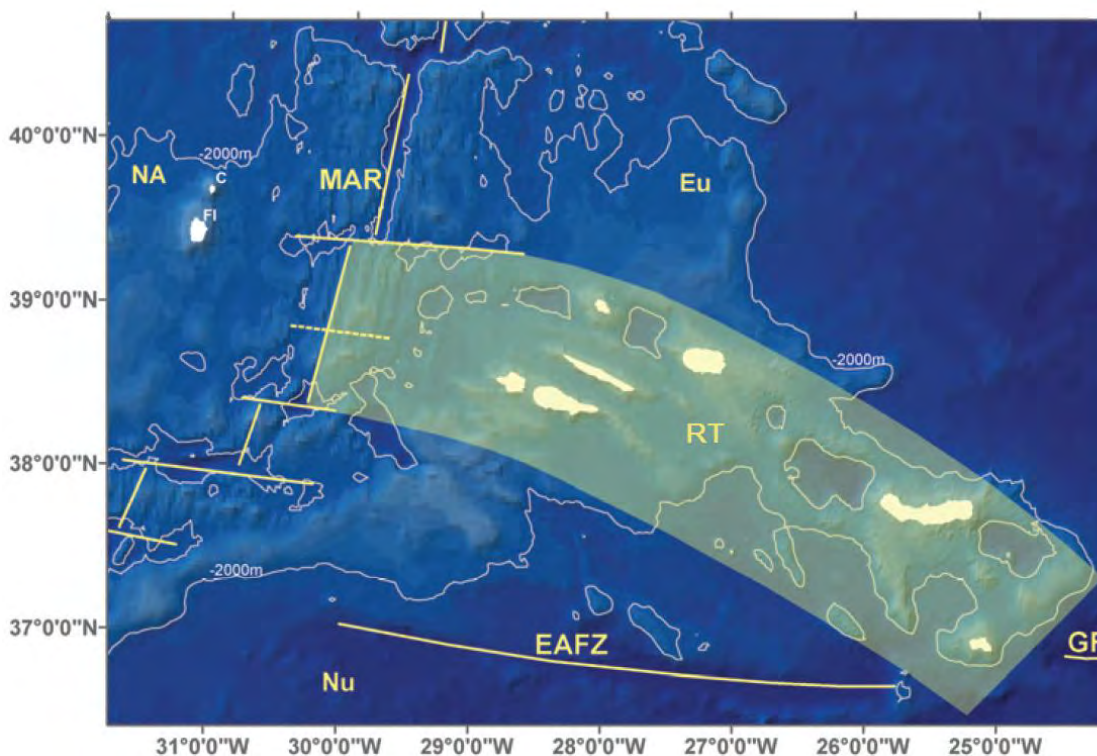


Figura 1.3 - Representação esquemática das principais estruturas que contextualizam o arquipélago dos Açores. NA - Placa Norte Americana; Eu - Placa Euroasiática; Nu - Placa Africana (Núbia); MAR - Crista Médio-Atlântica; RT - Rifte da Terceira *s.l.* (área a sombreado); EAFZ - Zona de Fractura Este dos Açores; GF - Falha Gloria (adaptado de Hipólito *et al.*, 2011).

A Crista Médio-Atlântica, com orientação aproximadamente N-S, é o limite distensivo que materializa a fronteira entre a placa Norte Americana a oeste e as placas Euroasiática e Africana a leste. As ilhas Flores e Corvo encontram-se a oeste da Crista Médio-Atlântica, implantadas sobre a placa Norte Americana, enquanto as restantes ilhas do arquipélago encontram-se dispostas a leste da Crista.

## 1. INTRODUÇÃO

---

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

O Rifte da Terceira define, na Plataforma dos Açores, o limite entre a placa Euroasiática a norte e a placa Africana a sul (e.g. Searle, 1980). Este rifte (s.l.) é definido por uma série de bacias submarinas e cristas alinhadas segundo a direcção WNW-ESE (e.g. Searle, 1980; Madeira, 1998). A dinâmica e localização exacta do Rifte da Terceira não são consensuais, considerando-se que corresponde a uma área difusa e complexa, onde a deformação é acomodada por numerosas falhas activas, que segundo alguns autores actua num regime transtensivo direito do tipo *leaky transform* (e.g. Laughton & Whitmarsh, 1974; Madeira & Ribeiro, 1990). As ilhas do grupo central e oriental encontram-se dispostas ao longo deste limite de placas.

Para leste da ilha de Santa Maria o limite entre as placas Euroasiática e Africana é definido pela Falha Gloria, estrutura de desligamento direito com direcção E-W (Laughton *et al.*, 1972).

A sul do arquipélago, entre a Crista Médio-Atlântica e a ilha de Santa Maria, desenvolve-se com direcção E-W a Zona de Fractura Este dos Açores. Esta estrutura é considerada, por alguns autores, inactiva, correspondendo a um antigo troço da fronteira das placas Euroasiática e Africana (e.g. Laughton & Whitmarsh, 1974; Searle, 1980; Madeira, 1998).

A confluência destas estruturas tectónicas e a sua dinâmica na Junção Tripla dos Açores permitiram a edificação das nove ilhas vulcânicas que constituem o arquipélago e são responsáveis pela actividade vulcânica e sísmica registada na região. Os Açores apresentam uma elevada sismicidade, fundamentalmente nos grupos oriental e central, em concordância com as estruturas tectónicas Crista Médio-Atlântica e Rifte da Terceira (s.l.), com o registo de crises sísmicas frequentes.

Desde o seu povoamento, os Açores registaram diversas erupções vulcânicas e a ilha de São Miguel, situada no sector sudeste do Rifte da Terceira (s.l.), registou seis erupções vulcânicas em terra. Actualmente, a actividade vulcânica nesta ilha resume-se às manifestações de vulcanismo secundário materializadas pelas emanações gasosas difusas, fumarolas e nascentes de águas termais e gasocarbónicas existentes nos estratovulcões activos.

Na ilha de São Miguel identificam-se três vulcões centrais activos: Sete Cidades, Fogo (também referenciado na bibliografia como Vulcão de Água de Pau) e Furnas. Entre estes vulcões poligenéticos desenvolvem-se zonas de vulcanismo fissural, onde se identificam vários centros monogenéticos na sua maioria de natureza basáltica s.l., que correspondem ao Sistema Vulcânico Fissural dos Picos (Gomes, 2013), entre os vulcões das Sete Cidades e do Fogo, e ao Sistema Vulcânico Fissural do Congro (Gomes, 2013), entre os vulcões do Fogo e das Furnas. Na extremidade oriental da ilha localizam-se os sistemas vulcânicos da Povoação e Nordeste, considerados extintos (Figura 1.4).

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

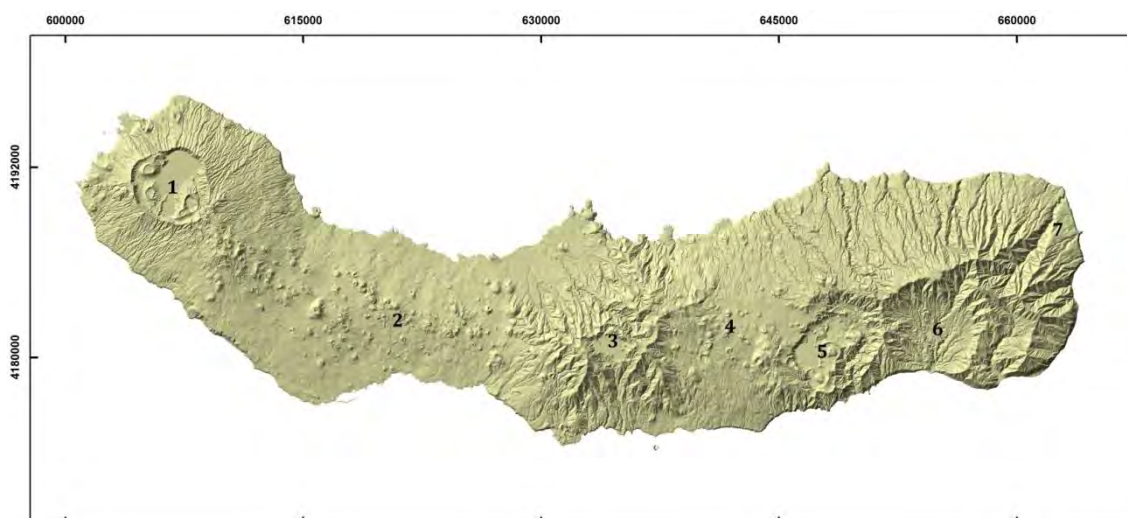


Figura 1.4 - Identificação dos complexos vulcânicos da ilha de São Miguel. 1 - Complexo Vulcânico das Sete Cidades; 2 - Sistema Vulcânico Fissural dos Picos; 3 - Complexo Vulcânico do Fogo; 4 - Sistema Vulcânico Fissural do Congro; 5 - Complexo Vulcânico das Furnas; 6 - Complexo Vulcânico da Povoação; 7 - Complexo Vulcânico do Nordeste.

O estudo vulcanoestratigráfico proposto no âmbito da presente tese, na costa norte da zona central da ilha de São Miguel, abrange parcialmente os complexos vulcânicos do Fogo e das Furnas, que se encontram distanciados cerca de 8 km, ao longo dos quais se desenvolve o Sistema Vulcânico Fissural do Congro.

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 1.3 ENQUADRAMENTO VULCANOESTRATIGRÁFICO

No presente capítulo apresenta-se a vulcanoestratigrafia dos sistemas vulcânicos do Fogo e das Furnas, com base na análise de estudos anteriores.

#### 1.3.1 VULCÃO DO FOGO

##### 1.3.1.1 Geomorfologia e Tectónica

O vulcão central poligenético do Fogo localiza-se na zona central da ilha de São Miguel, limitado a oeste pelo Sistema Vulcânico Fissural dos Picos e a leste pelo Sistema Vulcânico Fissural do Congro.

Este vulcão, encimado por uma caldeira, atinge a sua maior altitude aos 947 m no Pico da Barrosa e apresenta uma forte componente erosiva, com vales bastante encaixados (Wallenstein, 1999). Os sectores norte e noroeste apresentam flancos interiores com um declive abrupto, apresentando um desnível superior a 370 m na zona do vértice geodésico da Barrosa (Figura 1.5).

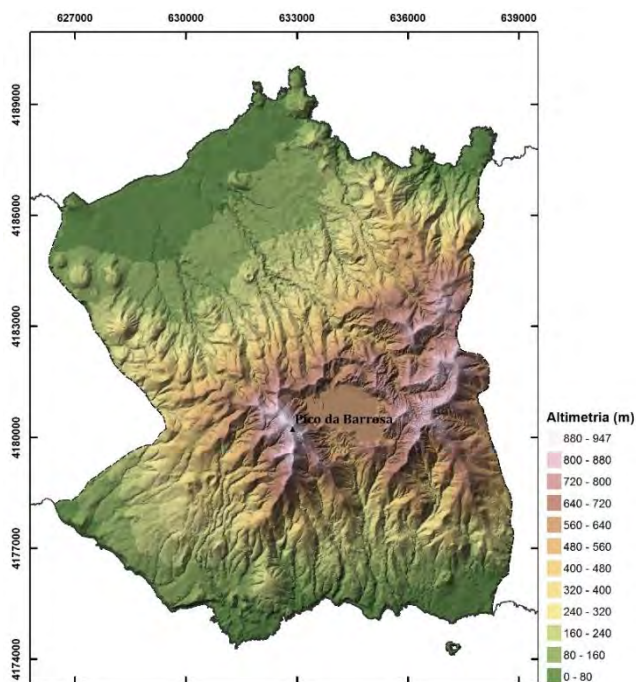


Figura 1.5 - Representação tridimensional da altimetria da região do maciço vulcânico do Fogo (limites baseados em Wallenstein, 1999), elaborada com base na Carta Militar de Portugal, folhas 28, 29, 32 e 33 (IGeoE, 2002) (coordenadas, em metros, da zona 26S da quadrícula UTM).

A caldeira alberga no seu interior uma lagoa - a Lagoa do Fogo, diversos domos e um cone de pedra pomes (Wallenstein, 1999) (Figura 1.6). A lagoa implanta-se na zona mais profunda da caldeira, e a sua forma aparenta ocupar uma linha de pelo menos quatro crateras contíguas (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999).

Moore (1990, 1991a) reconhece duas caldeiras no Vulcão do Fogo, uma mais recente com 3x2,5 km, e outra mais antiga com 7x4 km, preservada nos sectores norte, oeste e leste. Wallenstein (1999) não considera evidentes os critérios utilizados na delimitação desta última caldeira, argumentando que o encaixe e elevada densidade da rede de drenagem naquela área não permitem uma delimitação com confiança. Este autor considera que embora se possa admitir a existência de uma caldeira mais antiga, os limites da actual depressão correspondem a crateras recuadas devido à forte erosão que têm sofrido, não sendo, de qualquer modo, identificável o sector sul da caldeira.

Por outro lado, Booth *et al.* (1978) referem que a actual caldeira pode ser a última de uma série de outras já obliteradas por actividade subsequente, preenchidas por lavas do mesmo modo que o descrito por Self (1976) para as caldeiras de Santa Bárbara e do Pico Alto, na ilha Terceira. Nesse contexto, salienta-se que Wallenstein (1999) refere a existência de domos traquíticos na zona superior do vulcão, cuja distribuição traduz um sistema de falhas circulares associadas à evolução do vulcão.

Para além de domos traquíticos, Wallenstein (1999) identificou no maciço vulcânico do Fogo cones de escórias e de pedra pomes e formas hidrovulcânicas, estas últimas correspondendo a vestígios de cones ou anéis de tufos presentes no interior da caldeira e ao cone de tufos do ilhéu de Vila Franca do Campo, localizado a sul da ilha de São Miguel.

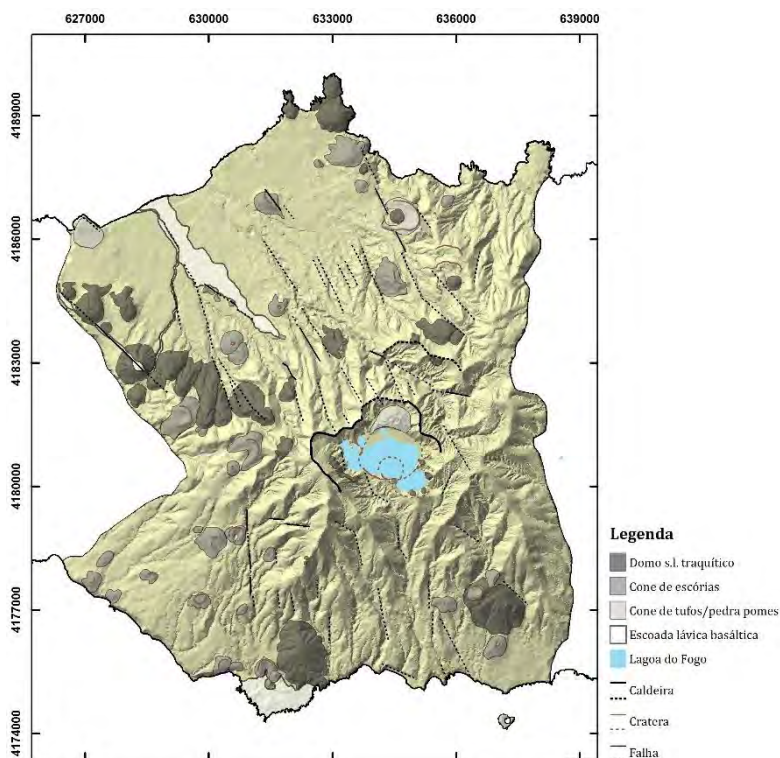


Figura 1.6 - Aspectos geomorfológicos e tectónicos da região do maciço vulcânico do Fogo (adaptado de Wallenstein, 1999).

## 1. INTRODUÇÃO

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

De acordo com Gandino *et al.* (1985), o complexo vulcânico do Fogo situa-se na intersecção de um sistema de falhas regionais NNW-SSE com o alinhamento E-W correspondente à orientação geral da ilha. Segundo o mesmo autor, o sistema tectónico transversal de direcção NNW-SSE atravessa o maciço do Fogo e materializa-se no flanco norte por uma estrutura em *graben* - *graben* da Ribeira Grande. O *graben* da Ribeira Grande encontra-se limitado a oeste e leste por alturas estruturais, que incluem cones de escórias e domos. De acordo com Muecke *et al.* (1974), o *graben* encontra-se em contínua subsidência, somando um abatimento de cerca de 650 m, já retirado o valor relativo à subida do nível do mar nos últimos 18 000 anos.

Em termos gerais, as estruturas tectónicas associadas a este maciço vulcânico têm direcção predominante NW-SE a NNW-SSE, coincidentes com a direcção do *graben*. O sistema de falhas do *graben* condiciona a distribuição dos centros monogenéticos no flanco norte do vulcão, a distribuição e direcção de algumas linhas de água e a própria geometria da caldeira e aparece também no flanco sul do vulcão, em conjunto com estruturas N-S (Wallenstein, 1999) (cf. Figura 1.6).

#### 1.3.1.2 Vulcanoestratigrafia

O maciço vulcânico do Fogo formou-se há mais de 200 000 anos (Muecke *et al.*, 1974) com a extrusão de materiais de natureza basáltica e traquítica. Wallenstein (1999) organizou a vulcanoestratigrafia deste vulcão em dois grupos, o Grupo Inferior e o Grupo Superior. O Grupo Superior constituído pelos produtos eruptivos dos últimos 40 000 anos, que são os mais representativos e acessíveis no campo, e o Grupo Inferior que inclui os produtos mais antigos (Figura 1.7). Os 40 000 anos correspondem à datação (por Moore & Rubin, 1991) de uma escoada lávica na base de uma arriba na costa sul do Vulcão do Fogo.

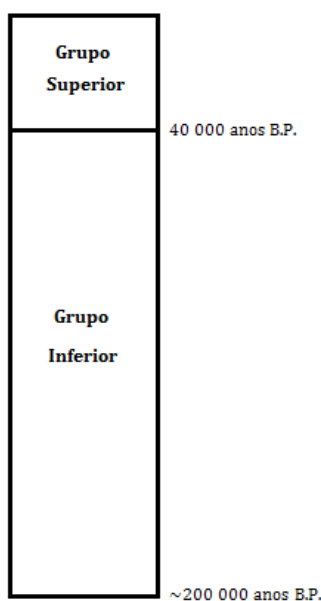


Figura 1.7 - Escala vulcanoestratigráfica geral do Vulcão do Fogo, de acordo com o proposto por Wallenstein (1999).

### 1.3.1.2.1 Grupo Inferior

Wallenstein (1999) reuniu no Grupo Inferior os produtos vulcânicos mais antigos do Vulcão do Fogo, com idade superior a 40 000 anos B.P., correspondendo aos produtos expostos na base do vulcão e aos produtos intersectados numa sondagem profunda realizada em 1973 no flanco norte. No entanto, este autor não definiu ou individualizou unidades geológicas neste grupo, devido ao reduzido número de afloramentos acessíveis que o permitissem realizar uma estratigrafia de maior detalhe.

A sondagem realizada em 1973 pela Universidade de Dalhousie e pelo Observatório Geológico de Lamont-Doherty iniciou-se aos 72 m acima do nível do mar e atingiu 981 m de profundidade. Perfurou lavas subaéreas e submarinas, piroclastos, brechas basálticas e arenitos, abrangendo um período temporal desde  $280\ 000 \pm 140\ 000$  anos (datação de lava submarina a 950 m de profundidade) a  $117\ 000 \pm 24\ 000$  anos (datação de escoada traquítica a 57 m de profundidade) (Muecke *et al.*, 1974).

De acordo com Muecke *et al.* (1974), a sondagem intersectou produtos eruptivos de condições subaéreas ou de ambiente marinho pouco profundo até aos 786 m de profundidade e apenas aos 880 m de profundidade intersectou lavas em almofada, indicativas de ambiente submarino (Figura 1.8).

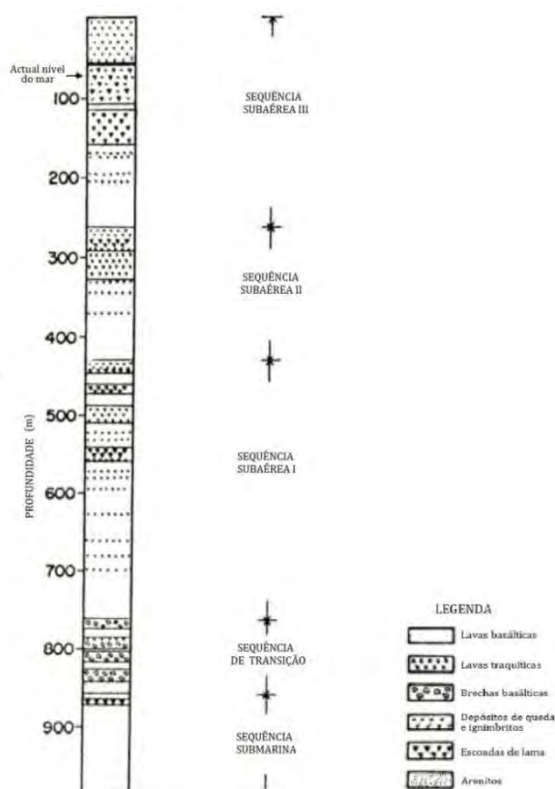


Figura 1.8 - Representação do testemunho da sondagem realizada no flanco norte do Vulcão do Fogo em 1973 (adaptado de Muecke *et al.*, 1974).

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Segundo o mesmo autor, a transição do vulcanismo subaéreo para submarino é marcada por uma sequência ígnea e sedimentar, com 107 m de espessura, que inclui camadas grosseiras de arenitos sobrepostos por brechas basálticas intercaladas, na parte superior, por escoadas lávicas.

Nos produtos subaéreos distinguem-se três sequências eruptivas individuais, que se sobrepõem à zona de transição. Cada sequência começa, de um modo geral, com lavas basálticas, seguidas de uma crescente presença de depósitos intercalados de ignimbrito, que aumentam em frequência e espessura para o topo, e terminam com um depósito de pedra pomes (Muecke *et al.*, 1974).

Em termos gerais, o material recolhido na sondagem correspondeu maioritariamente a escoadas lávicas (72% do volume total), predominantemente basálticas *s.l.* e, em menor proporção, a materiais piroclásticos (22% do volume total), maioritariamente de natureza traquítica (Muecke *et al.*, 1974).

Por outro lado, considerando as formações geológicas observadas nas arribas costeiras e na zona central do vulcão, as formações mais antigas aflorantes correspondem a escoadas lávicas e domos traquíticos, presentes na costa norte entre o Calhau do Cabo e o Porto Formoso, e aos domos traquíticos da Eira Velha e do Pico do Vento, no flanco sul do maciço (Wallenstein, 1999).

O domo da Eira Velha, com 181 000 anos (Gandino *et al.*, 1985), corresponde à datação mais antiga das rochas aflorantes no maciço do Fogo. Perto do cume do vulcão, no flanco sul, Moore (1991a) datou uma escoada traquítica de 121 000±5 000 anos e, na costa norte, Gandino *et al.* (1985) datou uma escoada piroclástica soldada de 103 000 anos.

### 1.3.1.2.2 Grupo Superior

O Grupo Superior inclui os produtos vulcânicos extruídos nos últimos 40 000 anos pelo Vulcão do Fogo (Wallenstein, 1999). Moore (1991a) inclui neste período dois depósitos relativos a eventos de formação de caldeira e, segundo este autor, durante este período a actividade basáltica ter-se-á restringido aos flancos do vulcão, enquanto a actividade traquítica terá ocorrido tanto nos flancos como no cume.

No Grupo Superior encontra-se uma das formações geológicas mais estudadas da ilha de São Miguel, a Formação do Fogo A, datada de há cerca de 4 600 anos, que se tornou um nível de referência para a estratigrafia recente da ilha de São Miguel, pela grande dispersão e características distintivas que apresenta.

Wallenstein (1999) encontrou dificuldades no estabelecimento de correlações estratigráficas entre os produtos eruptivos documentados nos flancos norte e sul do vulcão, devido a factores de tectónica, de erosão e de coberto vegetal. Estas dificuldades levaram a que este autor distinguisse, na

sua estratigrafia, duas sequências eruptivas para os produtos ante-Fogo A: a Sequência do Flanco Norte e a Sequência do Flanco Sul, e incluísse as formações pós-Fogo A na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo. Este autor reúne todas as formações basálticas ocorridas nos flancos do vulcão numa unidade que designou de Sequência Eruptiva Basáltica dos Flancos do Vulcão (Figura 1.9).

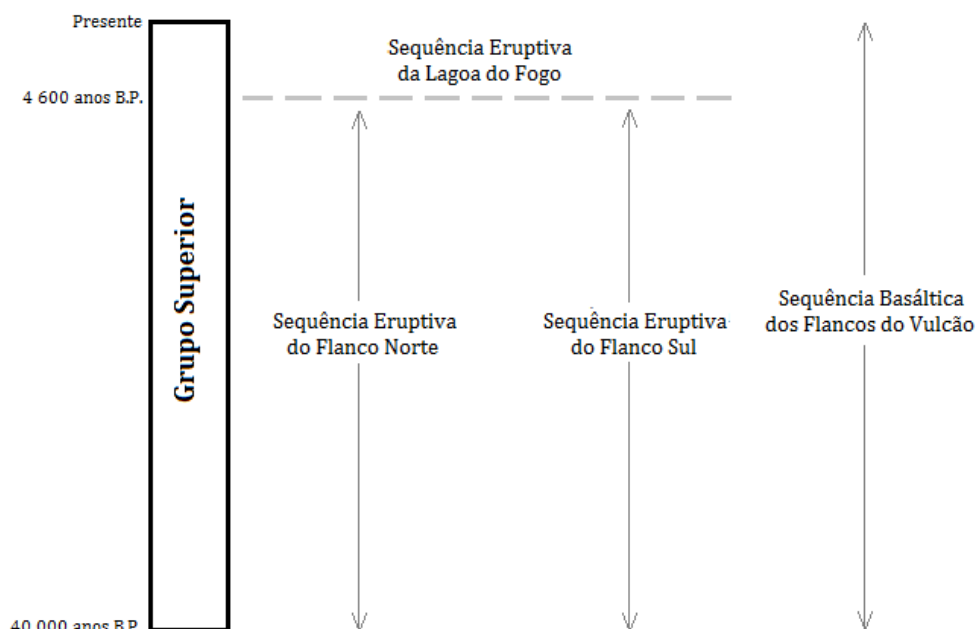


Figura 1.9 - Organização vulcanoestratigráfica do Grupo Superior, de acordo com o proposto por Wallenstein (1999).

As formações geológicas descritas de seguida seguem essencialmente as unidades estratigráficas propostas por Wallenstein (1999), com contributos de Moore (1991a) e Pimentel (2004).

#### 1.3.1.2.2.1 Formação da Caldeira Exterior

(Entre 45 000 e 30 000 anos - Moore, 1991a)

Moore (1990, 1991a) documentou um conjunto de depósitos de pedra pomes de queda e ignimbritos soldados e não soldados, expostos nos flancos nordeste e sudeste do Vulcão do Fogo, que associou à formação da caldeira exterior e que designou de *older caldera-outflow*.

Com base em relações estratigráficas Moore (1991a) indica uma idade entre 30 000 e 45 000 anos para estes depósitos.

#### 1.3.1.2.2.2 Formação da Roída da Praia

(34 200 anos B.P. - Shotton & Williams, 1973); (14 620±60 anos B.P. - Wallenstein, 1999)

Wallenstein (1999) englobou esta formação na Sequência do Flanco Sul e organizou-a em Membro Inferior, Membro Intermédio e Membro Superior.

## 1. INTRODUÇÃO

---

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

No Membro Inferior este autor descreveu 11 depósitos de natureza pomítica, um dos quais datado de 34 200 anos (Shotton & Williams, 1973), correspondente ao seu depósito de cinzas ignimbríticas e ao depósito de queda número 14 de Booth *et al.* (1978). Segundo Wallenstein (1999) este é um depósito constituído por cinzas finas, pobre em pedra pomes e líticos e apresenta espessuras de cerca de 10 m num paleovale observado num afloramento da costa sul.

No Membro Intermédio Wallenstein (1999) englobou apenas três depósitos, o da base, datado de  $14\ 620 \pm 60$  anos, corresponde a cinzas pomíticas, e os outros dois correspondem a um depósito de pedra pomes de queda com líticos sieníticos e com alteração hidrotermal, com espessura de 2 a 4 m, e a um depósito de cinzas com dois níveis de *lapilli* pomíticos.

O Membro Superior, por seu lado, engloba um total de 12 depósitos, predominantemente de cinzas e *lapilli* pomíticos, existindo, ainda, um depósito de escórias basálticas e um depósito de escoadas de lama (*mudflow*) (Wallenstein, 1999).

#### 1.3.1.2.2.3 Formação do Porto Formoso

( $21\ 340 \pm 130$  anos B.P. - Wallenstein, 1999)

A Formação do Porto Formoso integra a Sequência do Flanco Norte e é constituída por depósitos piroclásticos, alguns dos quais, provavelmente provenientes do Vulcão das Furnas (Wallenstein, 1999).

Nesta formação, Wallenstein (1999) descreveu depósitos pomíticos de cinzas e *lapilli*, ignimbrítico e piroclastos basálticos. Segundo a descrição deste autor, o depósito ignimbrítico, com uma espessura de 2,5 m, é composto por pedra pomes e líticos de natureza diversa que se destacam numa matriz de cinzas de cor castanha amarelada.

Um depósito constituído por pedra pomes e líticos muito finos e com troncos carbonizados encontra-se datado de  $21\ 340 \pm 130$  anos (Wallenstein, 1999).

#### 1.3.1.2.2.4 Formação da Barrosa

A Formação da Barrosa, incluída na Sequência do Flanco Norte, é constituída por um depósito ignimbrítico na base, seguido de depósitos pomíticos de *lapilli* e cinzas intercalados em camadas de escórias basálticas, e no topo por uma brecha grosseira não consolidada (Wallenstein, 1999).

De acordo com este autor, o depósito ignimbrítico tem uma espessura que varia de 1 m no interflúvio a 15 m no paleovale e é constituído por uma matriz de cinza muito rica em clastos de pedra pomes mais grosseiros, com líticos de natureza traquítica, e a brecha grosseira corresponde a um depósito remobilizado de materiais pomíticos com blocos basálticos e traquíticos.

### 1.3.1.2.2.5 Formação da Coroa da Mata

(18 600±300 anos B.P. - Moore & Rubin, 1991)

A Formação da Coroa da Mata, integrada na Sequência do Flanco Norte (Wallenstein, 1999), terá sido responsável pela construção do cone de pedra pomes, bem como, na fase final da erupção, do domo traquítico da Coroa da Mata (Moore, 1991a; Wallenstein, 1999).

Esta formação consiste num depósito espesso de pedra pomes de queda muito grosseira, muito rica em cristais de feldspato e anfíbola, com blocos que chegam a atingir 30 cm, rico em líticos com dimensões muitas vezes superiores a 50 cm, e que apresenta alternância de níveis muito grosseiros com níveis mais finos de cinzas, e o topo alterado em paleosolo (Wallenstein, 1999). Este autor não conseguiu medir a espessura total do depósito na zona proximal, por não ter observado a sua base em nenhum afloramento.

### 1.3.1.2.2.6 Formação dos Fenais da Luz

A Formação dos Fenais da Luz, exposta na arriba da costa norte da ilha de São Miguel desde os Fenais da Luz até à praia da Ribeira Seca, insere-se na Sequência do Flanco Norte (Wallenstein, 1999) e consiste numa sequência de depósitos piroclásticos, essencialmente pomíticos onde se destacam dois depósitos de pedra pomes de queda, com espessuras de 2-4 m (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999) (Fotografia 1.1).



Fotografia 1.1 - Parte da sequência dos depósitos da Formação dos Fenais da Luz.

O depósito de *lapilli* pomíticos inferior é constituído por pedra pomes média a grosseira e moderadamente rico em líticos, entre os quais de natureza sienítica, com fragmentos até 10 cm (Booth *et al.*, 1978). Pimentel (2004) refere que em afloramentos na zona leste da praia da Ribeira Seca os clastos constituintes deste depósito são mais grosseiros do que nos Fenais da Luz.

No depósito de *lapilli* pomíticos superior os líticos de natureza sienítica são raros e a pedra pomes apresenta, por vezes, estruturas de mistura de magmas do tipo *mingling* (Wallenstein, 1999).

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Segundo Pimentel (2004) a granulometria deste depósito é mais fina em afloramentos na praia da Ribeira Seca do que na zona dos Fenais da Luz.

Booth *et al.* (1978) referem que estes depósitos são demasiado espessos e grosseiros (pedra pomes até 40 cm e líticos até 10 cm) para serem provenientes das caldeiras quer das Sete Cidades quer do Fogo.

### 1.3.1.2.2.7 Formação da Chã das Gatas

A Formação da Chã das Gatas, exposta entre o Calhau do Cabo e o Pico das Freiras, na Ribeirinha, integrada na Sequência do Flanco Norte, é constituída por uma sequência de depósitos de *lapilli* e cinzas pomíticas intercaladas por um depósito de escórias basálticas e um tufo hidromagmático (Wallenstein, 1999).

Segundo Wallenstein (1999), o tufo hidromagmático, de natureza basáltica e cor cinza escuro, apresenta-se estratificado, com leitos de granulometria fina e muito fina, e apresenta espessuras inferiores a 1 m. Sobre o tufo este autor descreveu uma sequência piroclástica de depósitos de cinza muito alterados e um depósito de cinzas caracterizado por apresentar a meio um leito de pedra pomes com enclaves de fragmentos de escórias, muito rico em líticos.

O ignimbrito que Wallenstein (1999) documentou no topo desta formação - Depósito ignimbrítico gresoso - foi mais tarde identificado por Pimentel (2004) como correspondendo ao ignimbrito da Formação da Ribeira Chã.

### 1.3.1.2.2.8 Formação da Ribeira Chã

(15 190±280; 15 180±150 anos B.P. - Moore & Rubin, 1991; 14 820±60 anos B.P. - Wallenstein, 1999)

Englobada por Wallenstein (1999) na Sequência do Flanco Sul, onde atinge espessuras superiores a 18 m, e posteriormente documentada e incluída na Sequência do Flanco Norte por Pimentel (2004), a Formação da Ribeira Chã é composta por um conjunto de depósitos de pedra pomes de queda, cinzas e ignimbrito soldado e não soldado (Fotografia 1.2) (Moore, 1991a; Wallenstein, 1999; Pimentel, 2004).

Wallenstein (1999) organizou esta formação em dois membros, o Membro Inferior e o Membro Superior. O Membro Inferior, com espessuras superiores a 3 m, é formado por um depósito homogéneo de pedra pomes grosseira, branca, relativamente pobre em cristais, pouco vacuolar e com fractura de arrefecimento, rico em nódulos sieníticos (Wallenstein, 1999; Pimentel, 2004). Sobre este depósito

Pimentel (2004) documentou, no flanco norte do vulcão, uma camada de cinzas com estrutura do tipo *surge* e uma sequência de níveis de cinzas e *lapilli* pomíticos intercalados.

O Membro Superior é constituído pelo Ignimbrito da Ribeira Chã, que apresenta uma fácies soldada e não soldada. A fácies soldada, com tonalidade castanha acinzentada e níveis de concentração de *fiamme*, ocorre apenas na costa sul ao longo do eixo dos paleovales (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999), enquanto a fácies não soldada aflora nos flancos norte e sul do vulcão e é constituída por uma matriz de cinza de cor castanha rósea, com níveis mais grosseiros de pedra pomes e líticos, nomeadamente sienitos (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999; Pimentel, 2004).

De acordo com Pimentel (2004), no flanco norte, o ignimbrito apresenta-se bastante compacto e com o topo constituído por cinzas grosseiras alteradas em paleosolo. Por outro lado, no flanco sul, Wallenstein (1999) documentou uma passagem gradual do ignimbrito a uma sequência de depósitos de cinzas, alguns com pedra pomes e líticos dispersos, e o topo alterado em paleosolo. Este autor referiu que em alguns afloramentos a parte superior do ignimbrito é composta por escoadas de lama.



Fotografia 1.2 - Sequência eruptiva da Formação da Ribeira Chã, onde se observa o depósito de pedra pomes do Membro Inferior e o ignimbrito do Membro Superior (fácies soldada e não soldada).

Moore (1990, 1991a) denominou estes depósitos de *younger caldera-outflow*, reconhecendo, no entanto, que as evidências de que estes depósitos resultam da formação da caldeira mais recente do Vulcão do Fogo são pouco convincentes. Wallenstein (1999), por outro lado, considera que esta é responsável por uma importante fase de formação da actual caldeira do Vulcão do Fogo.

Wallenstein (1999) salienta que a idade de cerca de 15 000 anos obtida para o Membro Inferior desta formação não está de acordo com a sua posição estratigráfica relativamente ao Membro Intermédio da Formação da Róida da Praia, datado de 14 620 anos. Deste modo, baseando-se no modelo de estratificação da câmara magmática proposto por Widom *et al.* (1992) e considerando a distribuição temporal de quatro depósitos com características comuns (Membro Intermédio da Róida da Praia, Ribeira

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Chã, Fogo A e Fogo 1563), aquele autor estimou, para esta formação, uma idade entre 8 000 e 12 000 anos.

### 1.3.1.2.2.9 Formação do Espigão

(Entre 15 000 e 4 600 anos B.P.)

Esta formação, incluída por Pimentel (2004) na Sequência do Flanco Norte, aflora na zona do Espigão e é constituída por depósitos de escórias basálticas e depósitos de cinzas pomíticas, no geral, com pedra pomes e líticos disseminados, alguns dos quais sieníticos.

Destaca-se um depósito de cinzas pomíticas rico em cristais de feldspato e mica escura, que atinge mais de 1 m de espessura, e um depósito de escórias muito rico em cristais subcentimétricos esverdeados e escuros no topo (Pimentel, 2004).

### 1.3.1.2.2.10 Formação do Poço do Cavalo

(Entre 15 000 e 4 600 anos B.P.)

Pimentel (2004) identificou e descreveu a Formação do Poço do Cavalo englobando-a na Sequência do Flanco Norte.

De acordo com este autor, esta formação é constituída por uma sequência de depósitos pomíticos de granulometria cinza e *lapilli* e de escórias basálticas intercaladas, que dado o seu grau de alteração não permitiram o estabelecimento de relações estratigráficas. Um dos depósitos de cinzas pomíticas apresenta 1,5 m de espessura.

### 1.3.1.2.2.11 Formação do Pisão

(4 760±60 anos B.P. - Wallenstein, 1999)

A Formação do Pisão, documentada por Wallenstein (1999) na Sequência do Flanco Sul do vulcão, aflora imediatamente abaixo da Formação do Fogo A e, de acordo com este autor, é constituída por um depósito de cinzas compactas com vesículas na base, sobreposto por um depósito de pedra pomes branca, de grão médio, com raros fenocristais de feldspato.

### 1.3.1.2.2.12 Formação do Fogo A

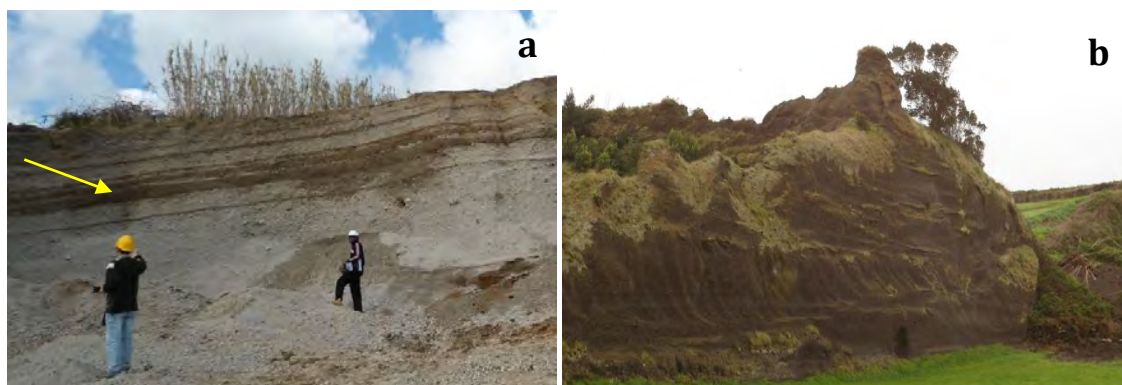
(4 672±100 anos B.P. - Shotton *et al.*, 1968; 4 435±99 anos B.P. - Shotton *et al.*, 1969; 4 550 anos B.P. - Booth *et al.*, 1978; 4 480±180 a 5 380±210 anos B.P. - Moore & Rubin, 1991; 4 230±150 e 4 520±90 anos B.P. - Wallenstein, 1999)

A Formação do Fogo A foi incluída por Wallenstein (1999) na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo e corresponde a um depósito bastante disperso e com características distintivas, que o tornaram um nível cronoestratigráfico de referência para a estratigrafia recente da ilha de São Miguel. Em termos gerais é constituída por um depósito pomítico, grosseiro e homogéneo, por vezes intercalado por pequenos leitos de grão fino que variam em número e espessura, e culmina com um depósito ignimbrítico espesso e com um depósito estratificado (Walker & Croasdale, 1971) (Fotografia 1.3).

Wallenstein (1999) realizou um estudo da estratigrafia fina dos depósitos constituintes desta formação e dividiu-a em Membro Inferior e Membro Superior, separados por um depósito de *surge*, que segundo este autor marca um colapso parcial da coluna eruptiva.

O Membro Inferior é constituído por uma alternância de níveis de cinzas e de *lapilli* pomíticos, destacando-se o nível de *lapilli* pomítico L4 (Wallenstein, 1999), que corresponde ao nível mais espesso, mais característico, de maior dispersão e que aflora mais frequentemente da Formação do Fogo A. É um depósito completamente solto, com bom *sorting*, composto por pedra pomes grosseira, vesicular, de cor amarela clara a cinza e rica em cristais de feldspato (Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999). Os cristais de feldspato soltos são um constituinte principal da fracção fina do depósito, enquanto os fragmentos líticos constituem uma pequena percentagem do todo, destacando-se os de natureza sienítica (Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999).

Ainda de acordo com Wallenstein (1999), no Membro Superior a alternância de níveis de pedra pomes de queda com níveis de cinzas e *lapilli* pomíticos do tipo *surge*, torna-se mais frequente e espessa para o topo, culminando com depósitos ignimbríticos que chegam a atingir mais de 20 m de espessura. Estes cobrem grande parte do *graben* da Ribeira Grande e alguns paleovales do flanco sul do Vulcão do Fogo, e são constituídos essencialmente por cinzas de cor cinza acastanhada ou tons róseos e marcados por um enriquecimento em sienitos, no teor dos cristais e pela presença de pedra pomes bandada ou escura (Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999).



Fotografia 1.3 - Formação do Fogo A. (a) Depósitos de pedra pomes. A seta indica o depósito de *surge* que delimita o Membro Inferior do Membro Superior; (b) Ignimbrito do Membro Superior.

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 1.3.1.2.2.13 Fogo B

(3 240±90 anos B.P. - Shotton *et al.*, 1970)

O depósito Fogo B insere-se na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo de Wallenstein (1999) e corresponde a um depósito estratificado e muito rico em cristais de feldspato, com espessura máxima de 10 m e bastante disperso para leste e norte. O centro emissor, fora da caldeira, corresponde à cratera que corta o domo da Mata do Botelho (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999).

A base deste depósito é constituída por cinza fina e cinza grosseira-*lapilli* fino, o sector intermédio por líticos e pedra pomes grosseira intercalada em camadas de grão fino, e o topo por cinzas finas com pedra pomes dispersa e um paleosolo bem desenvolvido (Booth *et al.*, 1978; Wallenstein, 1999). Wallenstein (1999) refere que nos afloramentos mais afastados do centro emissor o topo do depósito apresenta-se com estruturas do tipo *surge*.

### 1.3.1.2.2.14 Fogo C

Wallenstein (1999) englobou o depósito Fogo C na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo que, de acordo com a descrição de Booth *et al.* (1978), consiste num depósito de cinzas finas, rico em *lapilli* de acreção, que apresenta uma espessura máxima de 2,2 m. Segundo Wallenstein (1999), as cinzas são de cor amarelada a castanho claro, sempre muito alteradas e o topo do depósito é normalmente limitado por superfícies de erosão e parcialmente alterado para paleosolo.

### 1.3.1.2.2.15 Fogo D

O depósito Fogo D insere-se na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo (Wallenstein, 1999) e, em termos gerais, corresponde a um depósito de grão fino, bem estratificado e muito rico em líticos. Na maioria dos afloramentos a pedra pomes, de tonalidade amarela a amarela acastanhada e moderadamente rica em fenocristais de feldspato, é apenas ligeiramente maior do que os líticos (Booth *et al.*, 1978).

### 1.3.1.2.2.16 Fogo 1563

O depósito Fogo 1563, incluído na Sequência Eruptiva da Lagoa do Fogo (Wallenstein, 1999), é produto de uma erupção histórica, de magnitude pliniana, com início a 28 de Junho e foi precedida por actividade sísmica, que teve início a 23 de Junho. A erupção terminou a 3 de Julho do mesmo ano e os produtos eruptivos foram dispersos para leste, devido ao vento que soprava de W-SW (Figura 1.10).

Em termos gerais o depósito resultante mostra uma estratificação de camadas de pedra pomes fina e cinzas intercaladas em níveis de pedra pomes grosseira, sendo os níveis de granulometria fina ricos em líticos, e apresenta cristais de feldspato soltos e líticos de natureza sienítica (Walker &

Croasdale, 1971). A pedra pomes é branca, pobre em cristais, mais ou menos angular e exibe fractura de arrefecimento. O topo do depósito encontra-se frequentemente ausente devido à erosão e à acção antrópica (Wallenstein, 1999).

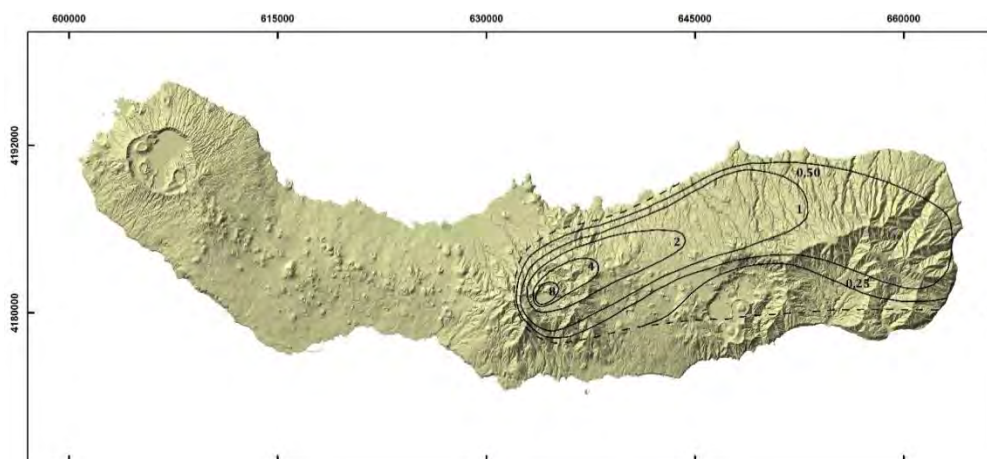


Figura 1.10 - Mapa de isopacas (valores em metros) do depósito da erupção do Fogo de 1563. A linha a tracejado marca o limite para além do qual os autores não encontraram o depósito (adaptado de Walker & Croasdale, 1971).

No ano seguinte, a 10 de Fevereiro de 1564, a caldeira do Vulcão do Fogo terá entrado novamente em actividade. Wallenstein (1999), com base nos relatos históricos de Gaspar Frutuoso (1522-1591†), refere que esta terá consistido em explosões freáticas, que terão contribuído para um maior afundimento e alargamento da cratera da erupção de 1563 e gerado pequenos *lahars* canalizados para as linhas de água do flanco sul do vulcão. Contudo, o mesmo autor ressalva que as evidências relativas à existência desta erupção são contraditórias e que os dados de campo são escassos ou mesmo inexistentes.

#### 1.3.1.2.2.17 Sequência Basáltica (*s.l.*) dos Flancos do Vulcão

Wallenstein (1999) juntou na Sequência Basáltica (*s.l.*) dos Flancos do Vulcão as escoadas lávicas e depósitos piroclásticos basálticos identificados nos flancos do Vulcão do Fogo. Este autor organizou esta sequência em duas sub-unidades geológicas, com base na sua posição estratigráfica em relação ao depósito da Formação do Fogo A: (1) Cones de escórias e escoadas lávicas ante-Fogo A, e (2) Cones de escórias e escoadas lávicas pós-Fogo A.

Este autor identificou um total de 15 cones de escórias de idade ante-Fogo A e descreveu diversos depósitos de piroclastos basálticos com características peculiares: clastos com xenólitos ricos em minerais ferromagnesianos, provavelmente de natureza gabróica (cone N do Pico do Vento), escórias com xenólitos sieníticos refundidos (Pico das Freiras e Pico da Multa). O depósito de piroclastos e

## 1. INTRODUÇÃO

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

escoada lávica do Monte Gordo cuja escoada lávica cobre toda a área entre a freguesia da Ribeirinha e o mar, no flanco norte, encontra-se datada de  $4\,990 \pm 100$  anos B.P. (Moore, 1990, 1991a).

Relativamente às formas pós-Fogo A, Wallenstein (1999) descreveu três unidades: o depósito de piroclastos e escoadas lávicas ricas em xenólitos sieníticos que formam a fajã lávica da Caloura no flanco sul, e, no flanco norte, a escoada lávica responsável pela formação do delta lávico a norte da freguesia de Ribeira Seca, que data de  $1\,790 \pm 150$  anos B.P. (Moore & Rubin, 1991) e os produtos da erupção histórica de 1563 no Pico do Sapateiro.

A erupção histórica de 2 de Julho de 1563 (Menezes *in* Wallenstein *et al.*, 1998 e Frutuoso, 1522-1591†) no topo do domo traquítico do Pico do Sapateiro (posteriormente designado de Pico Queimado) produziu escórias com uma distribuição limitada em torno das bocas eruptivas e escoadas lávicas que correram uma para leste, inflectindo depois para norte atingindo a freguesia de Ribeira Seca, e a outra para noroeste (Figura 1.11) (Wallenstein *et al.*, 1998).

Não se conhece a data em que terminou esta erupção, mas segundo relatos históricos (Menezes *in* Wallenstein *et al.*, 1998) decorreu até, pelo menos, o dia 28 de Julho. A lava resultante desta erupção, de natureza basáltica, apresenta textura porfírica, com fenocristais de olivina e é rica em xenólitos de natureza sienítica parcialmente refundidos (Wallenstein *et al.*, 1998).

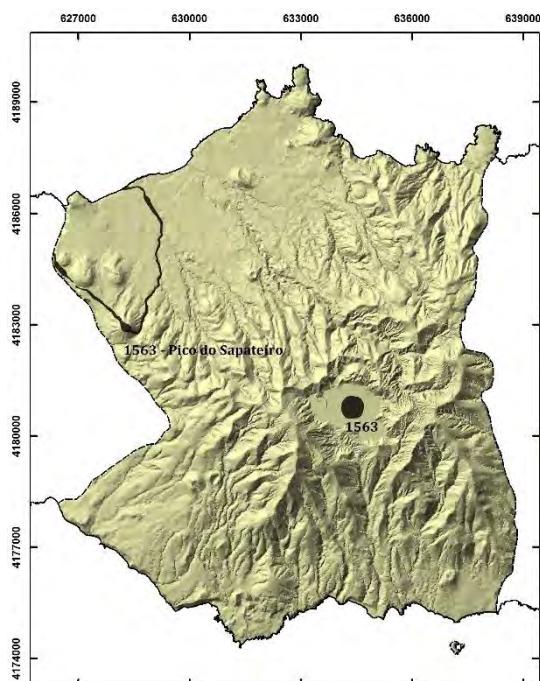


Figura 1.11 - Localização da erupção histórica de 1563 na caldeira do Vulcão do Fogo e da erupção histórica de 1563 no Pico do Sapateiro (Pico Queimado), com cartografia das escoadas lávicas produzidas no seu decurso (adaptado de Wallenstein *et al.*, 1998).

## 1.3.2 VULCÃO DAS FURNAS

### 1.3.2.1 Geomorfologia e Tectónica

O maciço vulcânico das Furnas corresponde a um vulcão central poligenético situado na parte leste da ilha de São Miguel entre o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, a oeste, e a caldeira da Povoação, a leste. Este vulcão atinge a sua maior altitude aos 805 m no Pico do Salto do Cavalo e apresenta o flanco sul com um relevo acidentado e declives abruptos, a contrastar com o flanco norte que se desenvolve num relevo mais aplanado e suave (Figura 1.12).

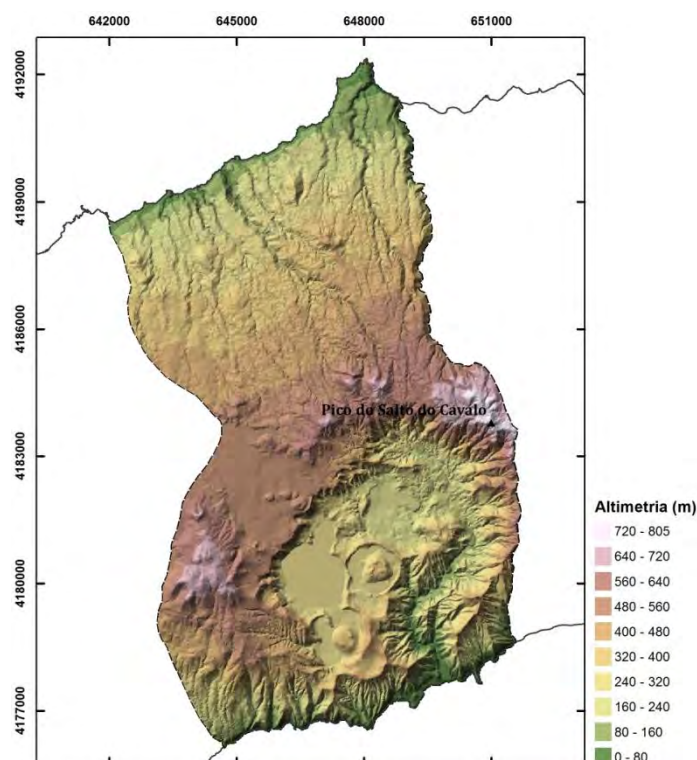


Figura 1.12 - Representação tridimensional da altimetria da região do maciço vulcânico das Furnas (limites baseados em Wallenstein, *com. pess.*), elaborada com base na Carta Militar de Portugal, folhas 29, 30, 33 e 34 (IGeoE, 2002 e 2003).

O Vulcão das Furnas encontra-se encimado por duas caldeiras, reconhecendo-se uma maior e mais antiga, com um diâmetro aproximado de 8x5 km, bem definida a norte, nordeste e sudeste, e outra mais recente, relativamente centrada na mais antiga, com cerca de 6x3,5 km, definida a norte e noroeste por uma escarpa com mais de 200 m de altura (Guest *et al.*, 1999).

No interior deste complexo de caldeiras encontram-se uma lagoa - a Lagoa das Furnas, cones e anéis de pedra pomes, domos traquíticos e crateras de menores dimensões, formadas em várias fases com fenómenos de colapso e explosão (Gaspar *et al.*, 1995) (Figura 1.13).

## 1. INTRODUÇÃO

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

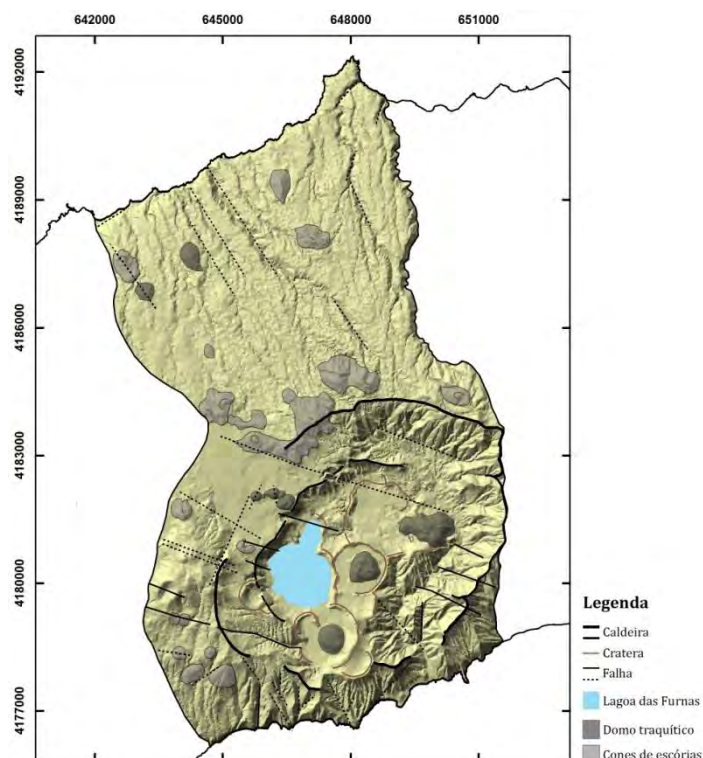


Figura 1.13 - Aspectos geomorfológicos e tectónicos da região do maciço vulcânico das Furnas (baseado em dados de Gaspar *et al.*, 1995; Guest *et al.*, 1999; Carmo, 2004; Carmo *et al.*, 2011).

No sector noroeste da caldeira exterior (mais antiga), no topo dos produtos de enchimento da mesma, desenvolve-se uma cadeia de domos, onde o maior, o domo do Pico do Ferro, apresenta cerca de 500 m de diâmetro e o domo situado mais a leste encontra-se quase totalmente cortado pela escarpa da parede da segunda caldeira (Guest *et al.*, 1999).

No bordo sudeste da caldeira exterior situa-se o domo dos Bodes, também cortado pela escarpa da parede da segunda caldeira e por falhas de direcção WNW-ESE e no bordo leste localiza-se o Pico do Canário, um cone de pedra pomes que se formou na intersecção das falhas que limitam a caldeira exterior e a caldeira interior (Guest *et al.*, 1999). Nos flancos norte e oeste do vulcão predominam os cones de escórias basálticas, com escoadas lávicas associadas.

De acordo com Gaspar *et al.* (1995), a distribuição dos centros eruptivos e dos principais sistemas fluviais e a morfologia das duas caldeiras principais estão relacionadas com as principais estruturas tectónicas nesta região, que têm direcção dominante WNW-ESE. Segundo os mesmos autores, a orientação de alguns vales sugere o controlo estrutural de direcção E-W, coincidente com a orientação da ilha, e nas vertentes sul e oeste do vulcão encontra-se representado um sistema conjugado de fracturas N-S e NNE-SSW (cf. Figura 1.13).

Gaspar *et al.* (1998) referem que a actividade basáltica no exterior da caldeira parece estar relacionada com falhas de direcção WNW-ESE, enquanto a actividade traquítica intracaldeira ocorre, normalmente, na intersecção dos sistemas de fractura WNW-ESE e NNE-SSW.

### 1.3.2.2 Vulcanoestratigrafia

O Vulcão das Furnas, com cerca de 100 000 anos (Moore, 1990, 1991a), é o vulcão central activo mais jovem da ilha de São Miguel e, de acordo com Guest *et al.* (1999), extruiu essencialmente material traquítico. Segundo Gaspar *et al.* (1995), as manifestações de natureza basáltica *s.l.* concentraram-se nos flancos norte e oeste do vulcão, com a presença de diversos cones de escórias e escoadas lávicas associadas.

Guest *et al.* (1999) organizaram a estratigrafia do Vulcão das Furnas em três grupos, o Grupo Inferior, o Grupo Intermédio e o Grupo Superior (Figura 1.14). Seguindo esta organização, o topo do Grupo Inferior é definido pela Formação do Ignimbrito da Povoação (Schmincke & Weibel, 1972 *in* Duncan *et al.*, 1999; Booth *et al.*, 1978) datada de 30 000 anos B.P. (Guest *et al.*, 1999), o topo do Grupo Intermédio é definido pelo depósito do Fogo A e o Grupo Superior inclui os depósitos das erupções ocorridas nas Furnas nos últimos 5 000 anos, incluindo duas após o povoamento da ilha.

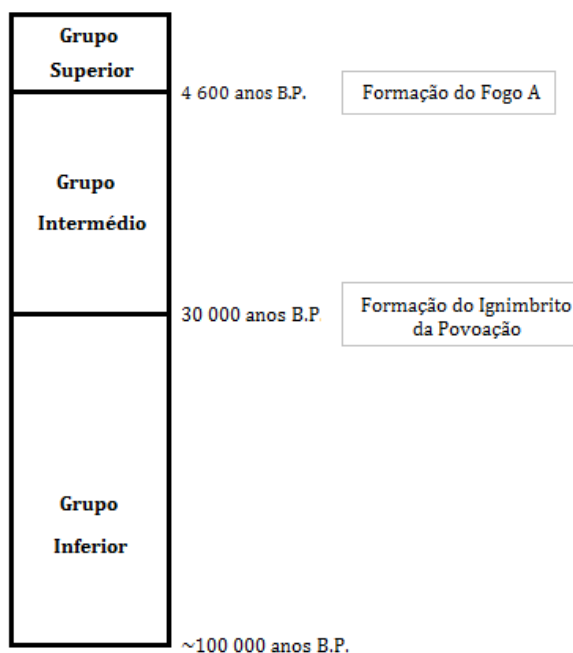


Figura 1.14 - Escala vulcanoestratigráfica do Vulcão das Furnas, de acordo com o proposto por Guest *et al.* (1999).

#### 1.3.2.2.1 Grupo Inferior

O Grupo Inferior inclui quatro formações geológicas que constituem as sequências eruptivas mais antigas do Vulcão das Furnas até à formação da primeira caldeira, que ocorreu há 30 000 anos B.P.

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

(Guest *et al.*, 1999) e que originou os depósitos da Formação do Ignimbrito da Povoação. A formação da primeira caldeira é um marco na vulcanoestratigrafia do Vulcão das Furnas, correspondendo à sua maior erupção (Duncan *et al.*, 1999; Guest *et al.*, 1999).

### 1.3.2.2.1.1 Formação das Amoras

Guest *et al.* (1999) dividiram a Formação das Amoras em Formação Inferior e Formação Superior, estando estas separadas por uma inconformidade.

De acordo com a descrição desses autores, a Formação Inferior, com cerca de 40 m de espessura na praia da Amora, é constituída por ignimbritos não soldados, que ocorrem em unidades de fluxo de 0,5-5 m, sobrepostos por pelo menos quatro unidades pomíticas, algumas com estratificação *lapilli*-cinza, separadas por paleosolos.

A Formação Superior, com mais de 35 m de espessura, inclui pelo menos seis camadas de *lapilli* pomítico, cada uma com mais de 1 m, intercaladas em depósitos de escoadas detríticas (*debris flows*), com mais de 3 m de espessura.

### 1.3.2.2.1.2 Formação da Albufeira

(Entre 93 000 e 44 000 anos B.P. - Moore, 1990 e Guest *et al.*, 1999)

Segundo Guest *et al.* (1999), a Formação da Albufeira encontra-se sobre uma escoada lávica espessa - a Escoada lávica traquítica do Garajau - e totaliza mais de 100 m de espessura. Esta formação consiste numa sequência de depósitos de *lapilli* de queda, *surges* e escoadas detríticas, sobreposta por uma sequência de escoadas de blocos e cinzas de material silicioso - as Escoadas de blocos e cinzas da Unidade Quente.

Estes depósitos encontram-se bem expostos nas arribas da Ribeira Quente e correspondem, aparentemente, a produtos de mais de uma erupção pliniana, sobrepostos pelas escoadas de blocos e cinzas, associadas à formação de um domo a poucos quilómetros de distância (Guest *et al.*, 1999).

### 1.3.2.2.1.3 Formação do Cavaleiro

A Formação do Cavaleiro aflora sobre as lavas do Complexo Vulcânico do Nordeste, num local a oeste da Povoação. Esta formação engloba mais de 18 unidades separadas por paleosolos que correspondem a depósitos pomíticos de queda (*lapilli* e cinza), exceptuando-se uma unidade que corresponde a um depósito de *surge* (Guest *et al.*, 1999).

#### 1.3.2.2.1.4 Formação do Ignimbrito da Povoação

(30 000 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

Os depósitos da Formação do Ignimbrito da Povoação estão associados à erupção da formação da primeira caldeira do Vulcão das Furnas, que correspondeu à maior erupção explosiva deste vulcão (Duncan *et al.*, 1999; Guest *et al.*, 1999). Os depósitos cobrem grande parte da vizinha caldeira da Povoação, encontrando-se bem expostos aí e nas arribas costeiras sul do Vulcão das Furnas (Booth *et al.*, 1978; Moore, 1990, 1991a; Duncan *et al.*, 1999).

A Formação do Ignimbrito da Povoação, com uma espessura total superior a 50 m, é constituída por depósitos de *lapilli* de queda, depósitos espessos de *surge* e unidades ignimbríticas soldadas e não soldadas (Duncan *et al.*, 1999).

De acordo com Duncan *et al.* (1999), esta formação exhibe uma variação vertical que se traduz numa estratificação em unidades de arrefecimento singulares, em intervalos de 20-30 cm, com camadas de diferente grau de soldagem e tamanho de clastos. As unidades soldadas evidenciam uma fábrica produzida pelo achatamento de clastos de material juvenil, formando *fiamme* paralelos à superfície de deposição (Fotografia 1.4). Nas unidades soldadas encontram-se líticos de sienito com 1-2 e até 9 cm dispostos paralelamente à fábrica.

Duncan *et al.* (1999) reconheceram nesta formação duas fácies principais: (1) a fácies de preenchimento dos paleovales, onde o ignimbrito tem uma espessura considerável e a unidade soldada chega a atingir 40 m de espessura (e.g. pedreira no vale da Ribeira Quente), e (2) a fácies dos interflúvios, que exhibe uma alternância de unidades soldadas e não soldadas, e onde as unidades soldadas apresentam-se mais finas ou passam lateralmente a unidades não soldadas.



Fotografia 1.4 - Formação do Ignimbrito da Povoação. (a) Pormenor dos *fiamme*; (b) Intercalação unidades soldadas-não soldadas.

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 1.3.2.2.2 Grupo Intermédio

O Grupo Intermédio é composto por sete formações geológicas, com idade compreendida entre 30 000 e 5 000 anos B.P. (Figura 1.15) e engloba a sequência eruptiva associada à formação da segunda caldeira do Vulcão das Furnas (Guest *et al.*, 1999).

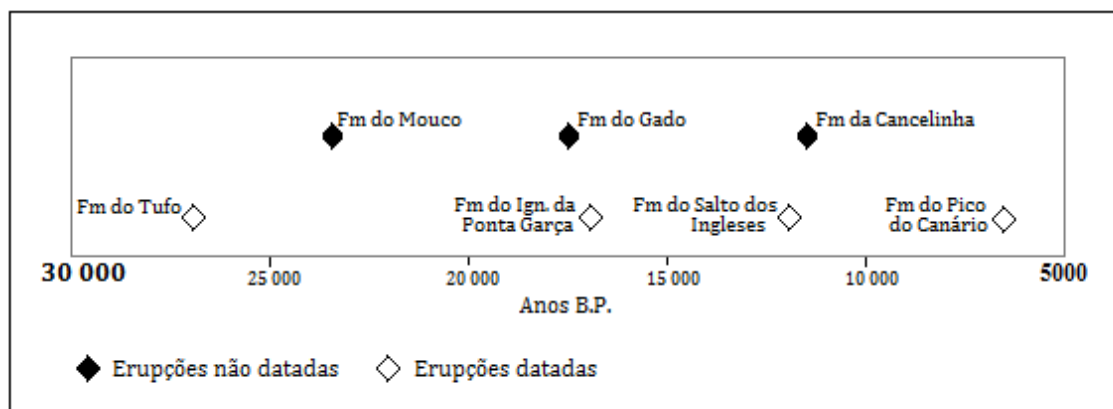


Figura 1.15 - Cronograma das erupções do Grupo Intermédio do Vulcão das Furnas. Dados de Moore & Rubin (1991), Moore (1991b) e Guest *et al.* (1999).

#### 1.3.2.2.2.1 Formação do Tufo

(27 000 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

A Formação do Tufo apresenta mais de 45 m de espessura na Ribeira do Tufo e é constituída por uma sequência de ignimbrito, várias sequências estratificadas de *lapilli* pomítico, tufo soldado e depósitos de *surge* (Guest *et al.*, 1999).

Segundo estes autores, a base do depósito é constituída por uma camada de *lapilli* pomítico bem calibrado, rica em fragmentos de carvão, e evolui superiormente para um tufo soldado, com 2-4 m de espessura, interpretado como um depósito de queda soldado. Este depósito encontra-se sobreposto por depósitos de queda de pedra pomes angular e relativamente densa, com 2-5 m de espessura, intercalados por camadas mais finas e descontínuas, interpretadas como depósitos de *surges*.

Na Ribeira do Tufo, perto da base da sequência, aflora um ignimbrito com cerca de 10 m de espessura (Guest *et al.*, 1999).

#### 1.3.2.2.2.2 Formação do Mouco

(Entre 30 000 e 17 000 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

A Formação do Mouco, com cerca de 30 m de espessura, é composta por três camadas de escórias basálticas, cada uma com espessuras até 4 m, uma escoada lávica basáltica e dois depósitos

pomíticos de alternância *lapilli*-cinza. A escoada lávica e as escórias basálticas serão provenientes de centros eruptivos exteriores à caldeira das Furnas (Sistema Vulcânico Fissural do Congro), enquanto os depósitos pomíticos serão provenientes do interior da mesma (Guest *et al.*, 1999).

Os mesmos autores referem que esta formação encontra-se coberta por uma sequência de depósitos de escoadas detríticas, com mais de 10 m de espessura.

### 1.3.2.2.3 Formação do Ignimbrito da Ponta Garça

(17 000 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

De acordo com Guest *et al.* (1999), a Formação do Ignimbrito da Ponta Garça apresenta uma espessura total superior a 15 m e é composta por várias unidades ignimbríticas, com 1-2,5 m de espessura, intercaladas por alguns depósitos de *surges* grosseiros e ricos em pedra pomes.

Segundo os mesmos autores, as unidades ignimbríticas apresentam gradação do tipo *coarse-tail grading*, o que significa que a fracção mais grosseira do depósito exhibe gradação normal.

### 1.3.2.2.4 Formação da Cancelinha

(Entre 17 000 e 5 000 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

A Formação da Cancelinha aflora na área da Ponta Garça e é composta por pelo menos nove depósitos pomíticos de queda, podendo alguns ser contemporâneos das unidades que constituem a parte superior da Formação do Gado (descrita em seguida) (Guest *et al.*, 1999).

Guest *et al.* (1999) referem que alguns dos depósitos que constituem esta formação são distintos pela sua estratificação cinza-*lapilli*, e outros dos depósitos, constituídos por *lapilli*, são distintos por exibirem leitos finos de cinza.

### 1.3.2.2.5 Formação do Gado

A Formação do Gado corresponde a uma sequência de pelo menos 14 depósitos de piroclastos de queda separados por paleosolos que aflora no interior da caldeira da Povoação (Guest *et al.*, 1999).

De acordo com a descrição efectuada por Guest *et al.* (1999), a maioria das unidades que constituem a Formação do Gado, principalmente as da parte inferior da sequência, são compostas por *lapilli* pomítico de queda e as unidades que constituem a parte superior da sequência são formadas por numerosas camadas de alternância *lapilli*-cinza pomítico.

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

---

Estes autores referem, ainda, que a pedra pomes dos depósitos inferiores é rica em cristais e a do topo não, podendo este facto ser uma característica distintiva dos depósitos que constituem esta formação.

### 1.3.2.2.6 Formação do Salto dos Ingleses

(27 000±1 000; 25 500±500; 24 000±500 anos B.P - Moore & Rubin, 1991); (12 000 anos B.P. - Moore, 1991a)

A Formação do Salto dos Ingleses é constituída por uma sequência de materiais piroclásticos de enchimento da caldeira mais antiga do Vulcão das Furnas e encontra-se exposta na parede norte da Lagoa das Furnas, cortada pela parede da segunda caldeira. No entanto, os afloramentos são, na generalidade, inacessíveis (Guest *et al.*, 1999).

Moore (1991a) documentou parte desta sequência estratigráfica num afloramento num vale a sul do Pico do Ferro. De acordo com a descrição deste autor, a sequência cobre uma escoada basanitóide e é constituída por três leitos de depósitos lacustres, com idades entre 27 000 e 23 000 anos, intercalados por depósitos finos de pedra pomes de queda e lavas em almofada (basanitóides e traquíticas). Esta sequência encontra-se oculta por 30 m e depois é sucedida por camadas de pedra pomes e por uma escoada lávica.

A cobrir estes depósitos e subjacente aos domos do Pico do Ferro encontra-se um ignimbrito soldado, datado de 12 000 anos (Moore, 1991a), designado por Guest *et al.* (1999) como a Unidade do Pico do Ferro.

Guest *et al.* (1999) referem que os materiais piroclásticos que constituem a sequência eruptiva de enchimento da primeira caldeira encontram-se expostos em outros locais na caldeira (e.g. estrada entre as Furnas e a Ribeira Quente), mas esses afloramentos encontram-se muito alterados, não sendo possível distinguir se correspondem a depósitos de escoadas piroclásticas primárias ou a depósitos de escoadas detríticas.

De acordo com Guest *et al.* (1999), os depósitos associados à formação da segunda caldeira do Vulcão das Furnas não são evidentes, no entanto, estes autores assumem como candidato o ignimbrito da Unidade do Pico do Ferro.

### 1.3.2.2.7 Formação do Pico do Canário

(Aproximadamente 6 600 anos B.P. - Moore, 1991b)

O Pico do Canário, localizado entre o bordo da caldeira das Furnas e da caldeira da Povoação, consiste num cone de pedra pomes, formado em pelo menos quatro fases eruptivas, comprovadas pelos horizontes de paleosolos (Guest *et al.*, 1999).

Em sequências proximais observam-se camadas de *lapilli* pomítico grosseiro com diferentes quantidades de material lítico, e em algumas sequências encontram-se camadas de *lapilli* pomítico divididas por leitos finos de cinza arenosa, grosseira e escura, constituída por materiais líticos (Guest *et al.*, 1999).

### 1.3.2.2.3 Grupo Superior

O Grupo Superior é constituído pelas formações resultantes dos episódios eruptivos ocorridos nos últimos 5 000 anos no interior da caldeira das Furnas (Guest *et al.*, 1999). No geral, resultaram de actividade subpliniana, e apresentam, com frequência, estratificação cinza-*lapilli* pomítico (Cole *et al.*, 1999).

Este Grupo inclui um total de 10 formações, que Booth *et al.* (1978) designaram de 'Furnas A' a 'Furnas J'. As duas últimas resultaram de erupções históricas ocorridas em 1439/43 (Queiroz *et al.*, 1995) e em 1630 (Cole *et al.*, 1995) (Figura 1.16).

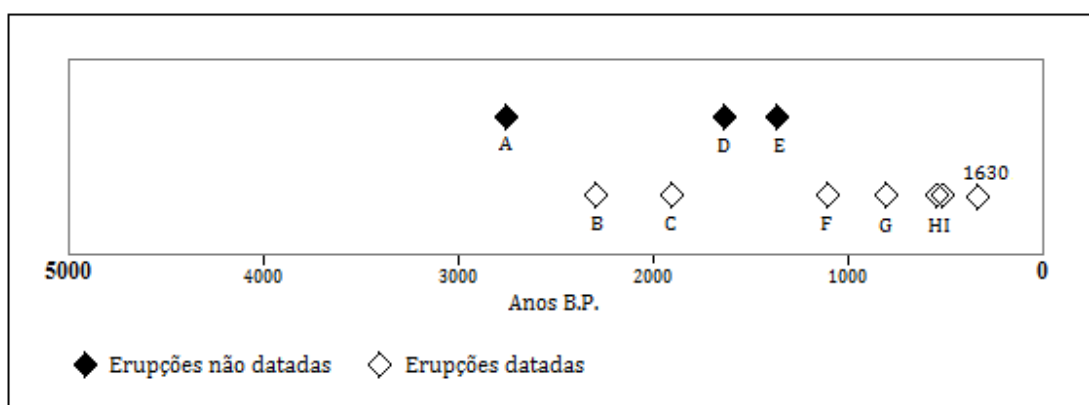


Figura 1.16 - Cronograma das erupções do Grupo Superior do Vulcão das Furnas. Dados de Booth *et al.* (1978), Moore & Rubin (1991), Queiroz *et al.* (1995) e Guest *et al.* (1999).

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 1.3.2.2.3.1 Furnas A

(Entre 3 240±90 e 2 310±160 anos B.P. - Shotton *et al.*, 1970 e Guest *et al.*, 1999)

O depósito Furnas A é constituído por uma cinza fina, provavelmente resultante de actividade freatomagmática (Guest *et al.*, 1994 *in* Pacheco, 1995), que apresenta uma espessura máxima de 80 cm e encontra-se intensamente erodido (Pacheco, 1995).

Segundo Pacheco (1995), este depósito posiciona-se estratigraficamente entre os depósitos Fogo B e Furnas B.

### 1.3.2.2.3.2 Furnas B

(2 310±160 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

Furnas B apresenta uma alternância de camadas de cinza e *lapilli*, predominando as cinzas nos cortes mais afastadas da caldeira (Pacheco, 1995). As cinzas, de tonalidade cinza escura, apresentam em alguns locais estruturas tubulares com alteração limonítica, que são interpretadas como restos de caules de erva enterrados no depósito durante a erupção (Booth *et al.*, 1978).

### 1.3.2.2.3.3 Furnas C

(2 900±120 anos B.P. - Shotton & Williams, 1971; 1 870±120 anos B.P. - Guest *et al.*, 1999)

O depósito Furnas C está associado à erupção de maior magnitude registada no Vulcão das Furnas nos últimos 5 000 anos. Em termos gerais é um depósito pomítico, com estratificação cinza-*lapilli*, rico em *lapilli* de acreção (Booth *et al.*, 1978).

Pacheco (1995) definiu duas unidades estratigráficas neste depósito, a Unidade-1 (U-1) e a Unidade-2 (U-2) (Figura 1.17).

Segundo Pacheco (1995), a Unidade-1 tem uma espessura máxima de 2,70 m e corresponde à camada de cinzas finas que constituem a base do depósito. Estas apresentam cor cinza clara, com alguns níveis de *lapilli* difusos e exibem em alguns locais uma estratificação muito fina. Nesta Unidade, Pacheco (1995) destaca a presença de vesículas, de *lapilli* de acreção e de vestígios de vegetação (*e.g.* troncos de plantas lenhosas, moldes negativos de folhas). Booth *et al.* (1978) e Pacheco (1995) referem, ainda, a presença, na base deste depósito, de estruturas tubulares, verticais com alteração limonítica que são interpretadas como caules de vegetação cobertos pela cinza.

De acordo com Pacheco (1995), a Unidade-2 corresponde aos restantes níveis do depósito, que começa com um nível de *lapilli* relativamente grosseiro, seguido de uma alternância de níveis de cinza e *lapilli*, sendo o topo, geralmente, constituído por uma importante camada de cinzas. Nesta Unidade

destaca-se a existência de níveis de *lapilli* com variação lateral de espessura ou estratificação entrecruzada, interpretados como *surges*.

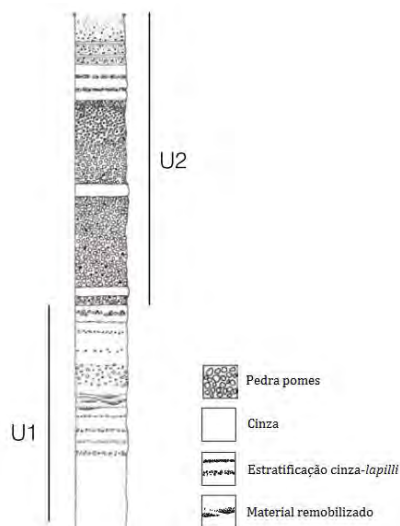


Figura 1.17 - Esquema da estratigrafia do depósito Furnas C, com indicação das Unidades U-1 e U-2 (não se encontra à escala) (adaptado de Pacheco, 2001).

O centro emissor deste depósito corresponde à cratera onde se insere a maior parte do património construído da freguesia das Furnas (Booth *et al.*, 1978; Pacheco, 1995) (Figura 1.18).

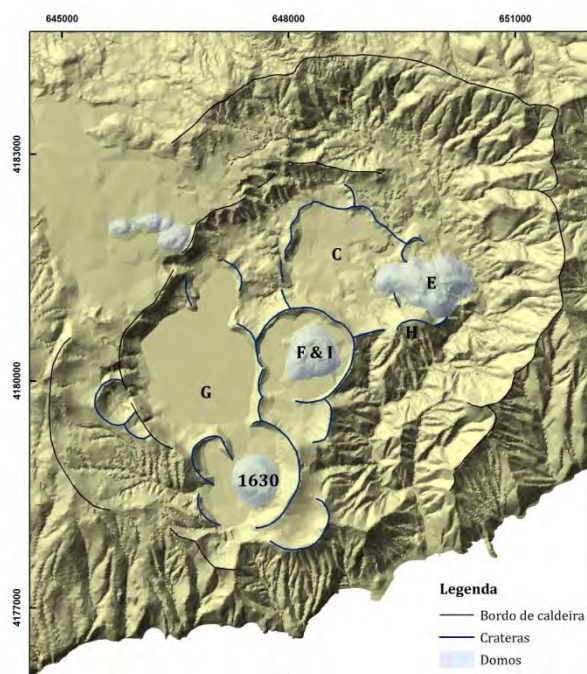


Figura 1.18 - Mapa com a localização dos centros eruptivos das erupções do Grupo Superior do Vulcão das Furnas (adaptado de Cole *et al.*, 1999).

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 1.3.2.2.3.4 Furnas D

De acordo com a descrição de Booth *et al.* (1978), o depósito de Furnas D consiste numa camada muito fina de cinza, com 30 cm de espessura, geralmente rica em líticos com diâmetro máximo de 2 cm, que terá sofrido dispersão para norte.

### 1.3.2.2.3.5 Furnas E

Furnas E, com 2,4 m de espessura máxima, corresponde a um depósito estratificado de cinza e *lapilli* pomítico, constituído por pedra pomes porfírica (Booth *et al.*, 1978).

Booth *et al.* (1978) localizam o centro eruptivo deste depósito no pico das Marconas, enquanto Cole *et al.* (1999) indicam o Pico das Caldeiras (cf. Figura 1.18). Apesar de ambos concordarem que esta erupção terminou com a edificação de um domo, para os primeiros este corresponderá ao domo das Marconas e para os segundos ao domo do Pico das Caldeiras.

### 1.3.2.2.3.6 Furnas F

(1 100±60; 1 120±120 anos B.P. - Moore & Rubin, 1991)

O depósito Furnas F apresenta uma alternância de camadas de cinza e *lapilli* e corresponde a um membro pouco comum devido à abundância de líticos em relação à pedra pomes (Booth *et al.*, 1978). De acordo com os mesmos autores, a pedra pomes, de cor cinzenta escura, é densa, mais máfica e rica em fenocristais do que em qualquer outro depósito do Vulcão das Furnas.

Booth *et al.* (1978) referem que a correlação de Furnas F é em muitos locais incerta, pois onde a camada é fina (*e.g.* afloramentos no bordo noroeste da caldeira) a pedra pomes está ou completamente decomposta ou amarelada devido à meteorização. O centro emissor de Furnas F terá sido a cratera do Gaspar (Booth *et al.*, 1978; Cole *et al.*, 1999) (cf. Figura 1.18).

### 1.3.2.2.3.7 Furnas G

(780±120 anos B.P. - Moore & Rubin, 1991)

De acordo com Booth *et al.* (1978) este é um depósito com espessura máxima de 1,5 m, estratificado, com alternância de camadas de cinza e *lapilli* e que se distingue pela presença de pedra pomes de cor pálida na base do depósito e pelo topo arenoso e escuro.

Estes autores referem que a ausência de grão grosseiro e a riqueza em líticos, especialmente na parte superior do depósito, onde se encontram fragmentos de obsidiana, são características distintivas deste depósito e que a pedra pomes é frequentemente escura e porfírica, bastante semelhante à presente no depósito Furnas F.

Cole *et al.* (1999) localizam o centro eruptivo na área sul da Lagoa das Furnas, indicando esta erupção como responsável pela formação daquela cratera da lagoa (cf. Figura 1.18).

### 1.3.2.2.3.8 Furnas H

1425 AD (490±50; 560±50 anos B.P. - Queiroz *et al.*, 1995)

O depósito Furnas H teve origem numa erupção puramente magmática, explosiva, curta e violenta, de magnitude subpliniana (Cole *et al.*, 1999), localizada no pico das Marconas (cf. Figura 1.18), onde o depósito encontra-se exposto com uma espessura inferior a 5 m (Booth *et al.*, 1978).

Este é um depósito relativamente massivo e homogéneo, composto inteiramente por pedra pomes vesicular (Cole *et al.*, 1999) e com teor moderado de fenocristais de feldspato e biotite, correspondendo a um dos depósitos mais grosseiros e menos disperso do Vulcão das Furnas (Booth *et al.*, 1978). O depósito é moderadamente rico em líticos e em alguns afloramentos contém madeira carbonizada (Booth *et al.*, 1978).

Furnas H encontra-se separado de Furnas I por um horizonte fino e irregular, indicando que o período de tempo entre os dois eventos eruptivos foi curto (Queiroz *et al.*, 1995; Cole *et al.*, 1999).

### 1.3.2.2.3.9 Furnas I

1439-43 AD (Queiroz *et al.*, 1995)

A erupção que originou o depósito Furnas I, de magnitude subpliniana (Cole *et al.*, 1999), iniciou-se com actividade explosiva, com emissão de cinzas e pedra pomes, seguindo-se a efusão de lavas que edificaram um domo traquítico.

De acordo com Booth *et al.* (1978), no depósito Furnas I distinguem-se duas partes, a parte inferior que consiste numa alternância de camadas de cinza e *lapilli* e tem uma espessura máxima de 6 m, e a parte superior, que se constitui por uma camada de pedra pomes pura e homogénea, onde os líticos são praticamente ausentes, a pedra pomes apresenta tendência lamelar e são abundantes os fenocristais de feldspato, também de tendência lamelar e até 8 mm.

Queiroz *et al.* (1995) referem que, segundo documentos históricos, estaria a decorrer uma erupção vulcânica na ilha de São Miguel aquando do seu povoamento, entre os anos de 1439 e 1443. Estes autores apresentando elementos vulcanológicos, estratigráficos, geocronológicos e documentais situam no Vulcão das Furnas a referida erupção e associam-na ao depósito Furnas I, indicando o Pico do Gaspar como o centro eruptivo (cf. Figura 1.18).

## 1. INTRODUÇÃO

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

---

Segundo Queiroz *et al.* (1995), quando os povoadores chegaram à ilha a fase explosiva da erupção já teria terminado e estaria a decorrer a fase efusiva, correspondente à edificação do domo.

### 1.3.2.2.3.10 Furnas J (1630)

O depósito Furnas 1630 resultou da última erupção histórica ocorrida no Vulcão das Furnas, tendo provocado a morte de 195 pessoas (Corrêa, 1924 e Dias, 1936 *in* Guest *et al.*, 1999).

A erupção iniciou-se a 3 de Setembro de 1630 (Corrêa, 1924 e Jerónimo, 1989 *in* Cole *et al.*, 1995) e foi precedida por actividade sísmica que terá desencadeado movimentos de vertente nas regiões mais próximas (na praia da Ribeira Quente encontram-se depósitos de vertente subjacentes aos depósitos vulcânicos desta erupção) (Cole *et al.*, 1995).

O depósito é constituído por uma alternância de níveis de cinza e de *lapilli* pomíticos, sendo a pedra pomes de cor pálida e moderadamente porfirítica (Booth *et al.*, 1978). De acordo com Booth *et al.* (1978), a base do depósito é composta por uma camada fina de pedra pomes particularmente grosseira. O depósito tende a ficar mais fino para o topo, mas culmina numa camada homogénea de pedra pomes grosseira (Booth *et al.*, 1978; Cole *et al.*, 1995).

As camadas de cinza contêm *lapilli* de acreção, texturas vesiculares (Booth *et al.*, 1978; Cole *et al.*, 1995) e apresentam variações laterais de espessura e estratificação oblíqua, sugerindo a ocorrência de *surges* (Cole *et al.*, 1995). No decorrer da erupção ocorreram, também, escoadas piroclásticas que foram canalizadas pelos vales e atingiram a costa sul, desde o litoral da Ribeira Quente até à Ponta Garça (Cole *et al.*, 1995).

O centro emissor desta erupção localizou-se junto à margem sul da Lagoa das Furnas (Cole *et al.*, 1995) (cf. Figura 1.18). Dias (1936 *in* Cole *et al.*, 1995) refere a existência de três lagoas na caldeira das Furnas antes da erupção de 1630: a Grande, a Escura e a Barrenta. A Grande seria aproximadamente do tamanho da actual Lagoa das Furnas e a Escura e a Barrenta estariam situadas no sector sul da caldeira, sendo destruídas durante a erupção (Cole *et al.*, 1995).

A fase explosiva terá durado três dias e quando cessou, iniciou-se a fase efusiva, com extrusão de um domo traquítico, que terá decorrido durante cerca de dois meses (Cole *et al.*, 1995). De acordo com Cole *et al.* (1999) este evento, de magnitude subpliniana, foi um dos episódios eruptivos mais pequenos ocorridos no Vulcão das Furnas nos últimos 5 000 anos.

## 2 VULCANOESTRATIGRAFIA

### 2.1 METODOLOGIA

A área objecto de estudo neste trabalho localiza-se na costa norte da ilha de São Miguel, entre as freguesias de Ribeirinha e Lomba da Maia, abrangendo parcialmente os complexos vulcânicos do Fogo, das Furnas e o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, que ocupam a região central da ilha de São Miguel (Figura 2.1). O Sistema Vulcânico Fissural do Congro desenvolve-se entre os vulcões do Fogo e das Furnas, ao longo de cerca de 8 km, onde é possível identificar cones monogenéticos, com escoadas lávicas associadas. Esta área encontra-se coberta pelos produtos piroclásticos das erupções mais recentes dos vulcões vizinhos e pelo depósito de pedra pomes associado ao *maar* da Lagoa do Congro (Booth *et al.*, 1978), situado a leste do Vulcão do Fogo.

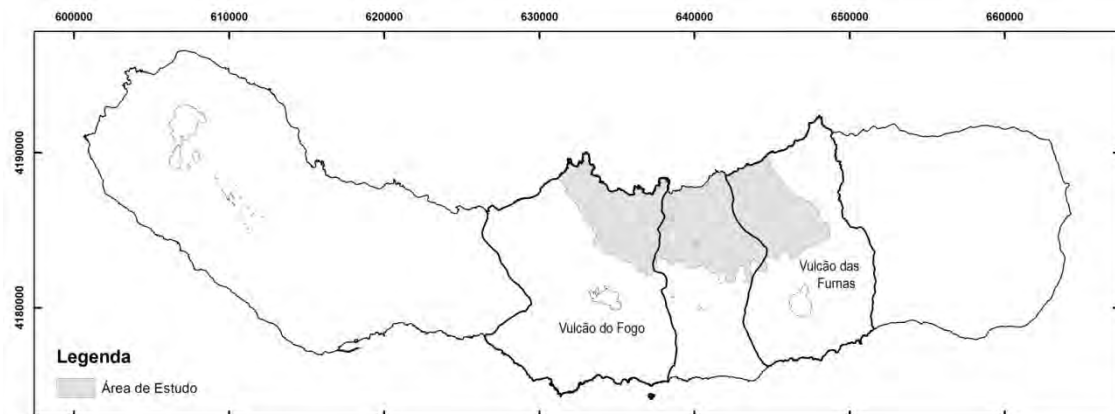


Figura 2.1 - Identificação da área de estudo no contexto dos sistemas vulcânicos do Fogo e das Furnas.

O trabalho realizado, de identificação e descrição das sequências eruptivas presentes nesta área, tem como objectivo perceber a representatividade espacial dos depósitos dos vulcões do Fogo e das Furnas nesta área e consequentemente a área de dispersão dos produtos das suas erupções vulcânicas.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Para a realização do trabalho de campo, procedeu-se, numa primeira fase, à consulta da bibliografia disponível sobre as sequências eruptivas dos complexos vulcânicos em estudo, Fogo e Furnas, em especial da descrição das características e dispersão dos depósitos resultantes da sua actividade eruptiva.

Posteriormente realizou-se um trabalho de reconhecimento de níveis de referência no campo. Nesta fase, os depósitos das formações do Fogo A, Coroa da Mata e Furnas C mostraram-se os mais importantes, pelas suas características distintivas, que permitiram o seu reconhecimento no campo e inferir a idade relativa de outros depósitos observados nos mesmos afloramentos. Contudo, de um modo geral, os depósitos da Formação do Fogo A, tal como já referenciado por outros autores para outras áreas (e.g. Queiroz, 1997; Guest *et al.*, 1999), foram os mais úteis, devido à sua grande dispersão.

No trabalho de campo foram documentados 74 afloramentos, para o estudo das sequências eruptivas presentes neste sector da ilha (Figura 2.2). Os trabalhos de campo foram realizados com recurso à base cartográfica da Carta Militar de Portugal editada em 2002 pelo Instituto Geográfico do Exército, na escala 1/25 000, folhas 28 - Ribeira Grande, 29 - Maia e 33 - Vila Franca do Campo - São Miguel - Açores. A localização dos vários afloramentos documentados foi determinada através de um GPS da marca Garmin, modelo GPSMAP 276C, utilizando o sistema de coordenadas da zona 26S da quadrícula UTM, com base no Datum WGS84.

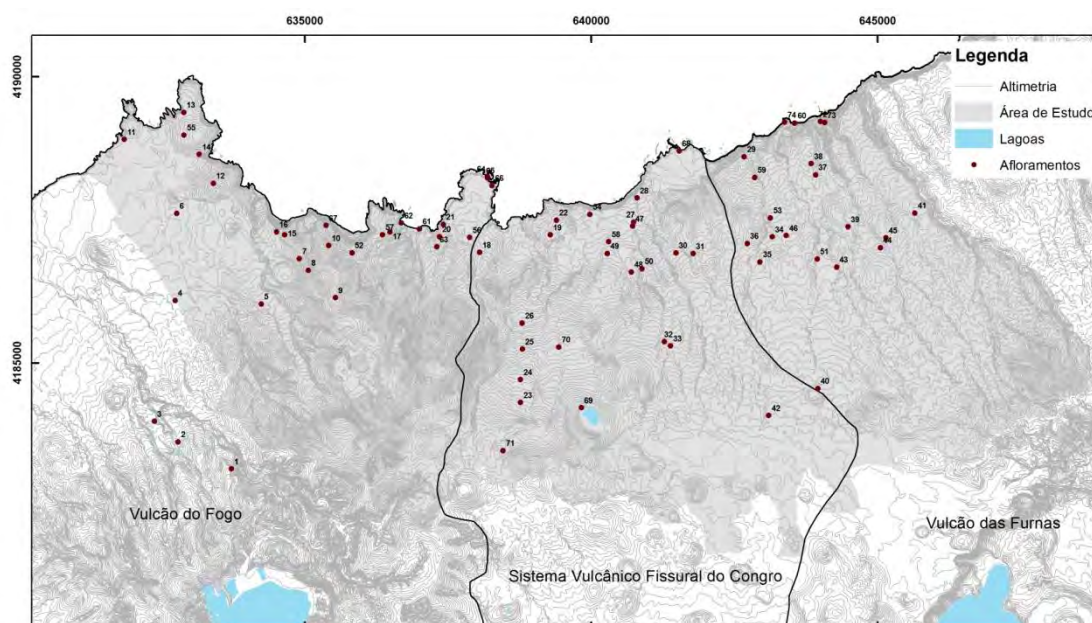


Figura 2.2 - Mapa de localização dos afloramentos documentados na área de estudo, no contexto dos vulcões do Fogo e Furnas e Sistema Vulcânico Fissural do Congro.

Em cada afloramento visitado foi documentado um corte geológico, com a descrição dos depósitos piroclásticos presentes (espessura, constituintes, granulometria, estrutura interna) utilizando, genericamente, a mesma terminologia usada por Wallenstein (1999) e recorrendo, também, à nomenclatura utilizada no trabalho de Cas & Wright (1987). Em alguns locais, devido à sua inacessibilidade, realizaram-se esquemas ilustrativos e interpretativos dos afloramentos.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2 TRABALHO DE CAMPO

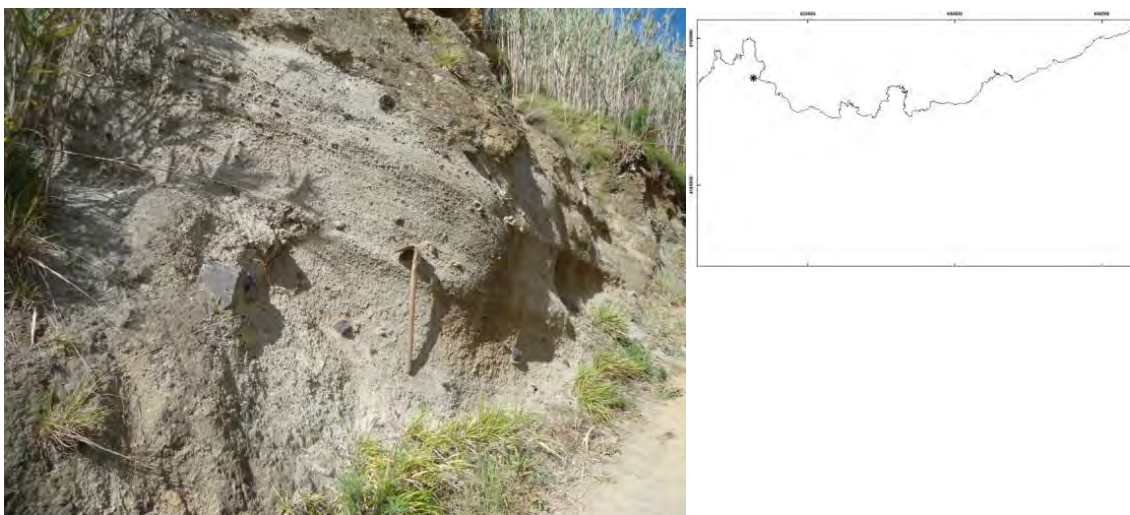
Os dados recolhidos no trabalho de campo permitiram o estabelecimento de algumas correlações estratigráficas entre os depósitos documentados e uma organização geral da estratigrafia da área de estudo em três grandes grupos, com base num critério espaço-temporal.

Deste modo, considerou-se (1) a Unidade de Base, que engloba um conjunto indiferenciado de produtos eruptivos mais antigos expostos no litoral, na base das arribas; (2) a Unidade Intermédia, onde se incluem os depósitos até aos 5 000 anos de idade; e (3) a Unidade Recente, que reúne os depósitos de unidades estratigráficas com idade inferior a cerca de 5 000 anos, incluindo o depósito resultante de uma erupção histórica.

#### 2.2.1 UNIDADE DE BASE

Nesta unidade incluem-se vários depósitos de ignimbritos expostos em zonas costeiras da área de estudo (e.g. porto de Santa Iria e praia da Viola), escoadas lávicas/domos de natureza traquítica e escoadas lávicas basálticas.

No porto de Santa Iria, na Ribeirinha, encontra-se exposto um ignimbrito que se propõe aqui designar de Ignimbrito de Santa Iria e que neste local apresenta cerca de 15 m de espessura. Em termos gerais, este depósito ignimbítico é estratificado e constituído por *lapilli* pomítico de cor branca, vesicular e sem cristais e por blocos de pedra pomes e líticos dispersos (Fotografia 2.1).



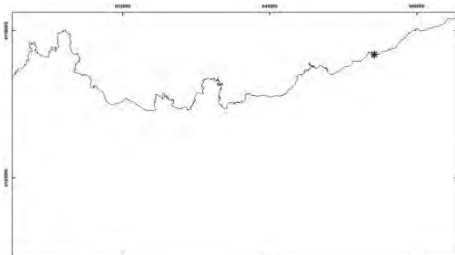
Fotografia 2.1 - Aspecto do depósito do Ignimbrito de Santa Iria, exposto próximo do porto de Santa Iria, Ribeirinha.

Este ignimbrito insere-se numa sequência de depósitos piroclásticos indiferenciados de natureza pomítica, que se encontram sobre as escoadas lávicas expostas na base da arriba, neste sector da ilha (Fotografia 2.2).



Fotografia 2.2 - Ignimbrito exposto no porto de Santa Iria. E.L. – Escoada lávica; Seq. Ind. – Sequência indiferenciada de natureza pomítica; Ign. – Ignimbrito de Santa Iria.

Na praia da Viola, na Lomba da Maia, encontra-se exposta, na arriba, ao longo de uma extensão de cerca de 200 m, uma sequência de produtos vulcânicos, desde escoadas lávicas a depósitos piroclásticos, de queda e de fluxo, de natureza pomítica (Fotografia 2.3).



Fotografia 2.3 - Vista geral sobre a praia da Viola, Lomba da Maia.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

A sequência de depósitos piroclásticos da Viola encontra-se sobre uma escoada lávica diferenciada, sendo formada por depósitos muito grosseiros, de desmonte (depósitos de *lahar* ou depósitos de vertente) e por unidades ignimbríticas. Estes depósitos ignimbríticos encontram-se cobertos por escoadas lávicas.

O ignimbrito, que junto à foz da Ribeira dos Miguéis, no sector oeste da praia, apresenta mais de 10 m de espessura, é constituído por uma matriz de cinzas de cor castanho claro a cinza claro, rica em clastos de pedra pomes e alguns líticos. Neste afloramento é possível identificar três unidades de fluxo, com depósitos de *surge* associados (Fotografia 2.4).



Fotografia 2.4 - Unidades ignimbríticas expostas na praia da Viola.

A aqui designada de Formação do Ignimbrito da Viola poderá incluir vários depósitos ignimbríticos e estará associada a pelo menos uma grande erupção explosiva de natureza traquítica. Contudo, e apesar da dimensão destes depósitos, na bibliografia disponível não foram encontradas referências aos depósitos piroclásticos de queda e fluxo (Fotografia 2.5) expostos nesta praia.

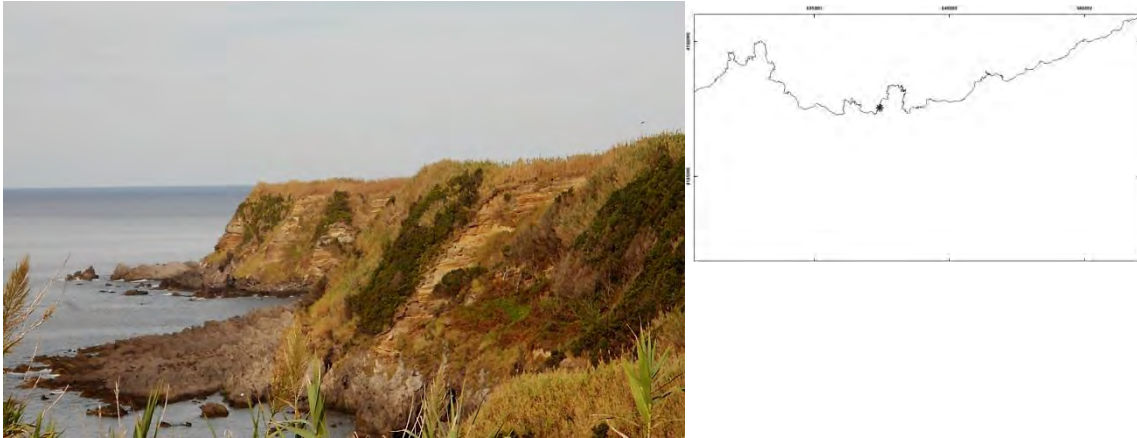


Fotografia 2.5 - Pormenor de ignimbrito exposto na praia da Viola.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

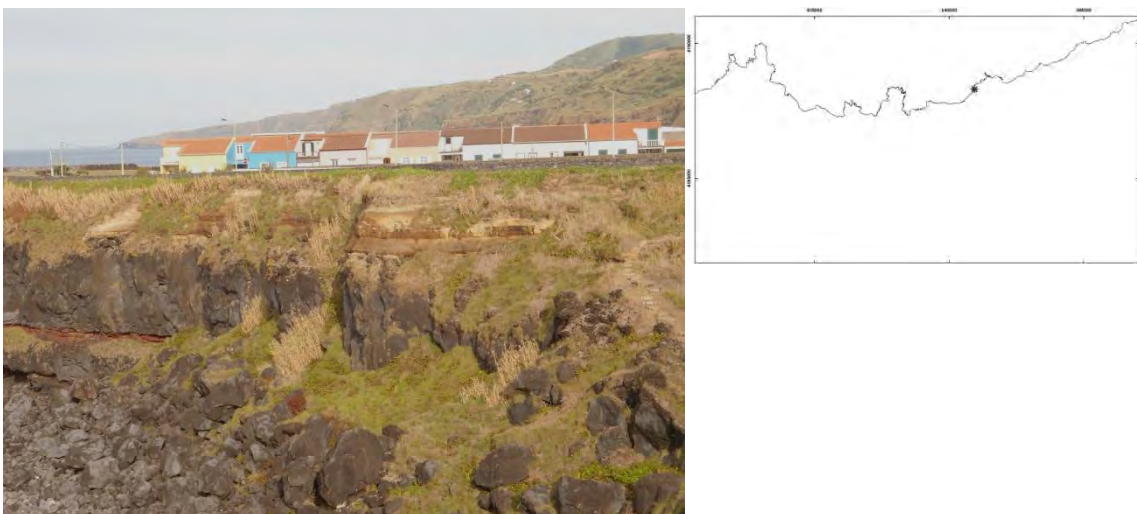
No sector norte da ilha de São Miguel, desde o Calhau do Cabo até à Ponta de S. Brás, predominam, na costa, os afloramentos de espessas escoadas lávicas de natureza traquítica, sobre as quais se encontram depósitos piroclásticos de natureza pomítica (Fotografia 2.6). Em alguns sectores da costa, encontram-se, sobre estes depósitos pomíticos, novas escoadas lávicas traquíticas (e.g. Ponta do Cintrão e Praia dos Moinhos).



Fotografia 2.6 - Escoadas lávicas traquíticas cobertas por depósitos pomíticos, no Porto Formoso.

Na Maia e Lomba da Maia encontram-se também lavas traquíticas, contudo em menor proporção, quando comparadas com os afloramentos de rochas basálticas.

As rochas basálticas encontram-se expostas no Porto Formoso e S. Brás, mas os seus afloramentos vão sendo mais frequentes para o sector leste da área de estudo. Na Maia estas lavas têm maior representatividade, formando a fajã sobre a qual se desenvolve o povoado da freguesia (Fotografia 2.7; Fotografia 2.8).



Fotografia 2.7 - Lavas basálticas na costa da freguesia da Maia.

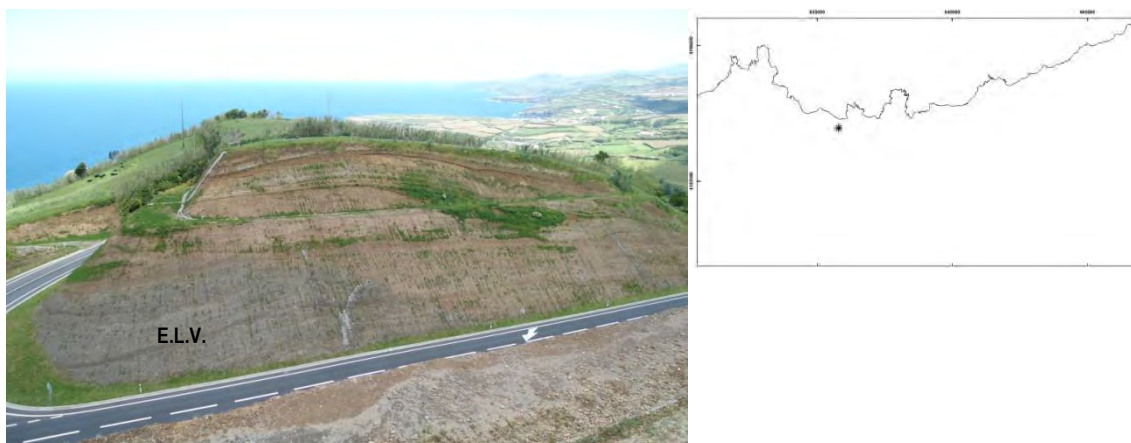
## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)



Fotografia 2.8 - Aspecto da fajã da Maia.

Junto à descida para a Ladeira da Velha, no Porto Formoso, encontra-se um depósito de fluxo, com mais de 10 m de espessura, composto por clastos juvenis densos (*dense juvenile*), de cor cinza escura, ricos em cristais de sanidina, com dimensão até 5 mm, numa matriz de cinza (Fotografia 2.9). Observa-se, também, a presença de clastos de obsidiana.



Fotografia 2.9 - Escodas de blocos e cinzas da Ladeira da Velha (E.L.V.), Porto Formoso.

A composição deste depósito por clastos, todos eles de natureza muito semelhante (Fotografia 2.10), indica tratar-se de uma escoada de blocos e cinzas (*block and ash flows*) – Escoada de blocos e cinzas da Ladeira Velha – que estará associada ao colapso de um domo traquítico na proximidade deste local.



Fotografia 2.10 - Pormenor do depósito de escoada de blocos e cinzas da Ladeira da Velha.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.2 UNIDADE INTERMÉDIA

Na Unidade Intermédia incluem-se quatro unidades vulcanoestratigráficas – as formações de S. Brás, Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata – cujos depósitos foram observados em vários pontos da área de estudo.

As formações do Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata foram já identificadas por outros autores e a sua caracterização é complementada no presente trabalho com a descrição de novos afloramentos. Para a Formação da Chã das Gatas consideram-se duas sequências eruptivas, a Sequência do Calhau do Cabo e a Sequência da Defeira.

É descrita, ainda, uma sequência de depósitos bastante alterados observados sob o depósito do Fogo A no sector leste da área de estudo.

#### 2.2.2.1 Formação de S. Brás

Esta formação inclui uma sequência de depósitos de pequena espessura, expostos em S. Brás e Maia (Figura 2.3). Nos afloramentos onde é visível a base, esta formação encontra-se sobre um depósito de escórias basálticas rico em cristais soltos de piroxena e olivina (ZC-N58) e sobre uma escoada lávica basáltica de textura afírica (ZC-N22).

##### **Depósito de cinzas alteradas**

Depósito de cinzas alteradas de cor castanho avermelhado, que apresenta espessura máxima de 16 cm no local do corte ZC-N22.

##### **Depósito de pedra pomes**

Depósito constituído por pedra pomes de granulometria *lapilli* fino e cor amarelada, rico em líticos. A metade superior deste depósito é composta por cinzas de cor cinzenta com pedra pomes e líticos disseminados. Apresenta uma espessura máxima de 18 cm, no local do corte ZC-N22.

##### **Depósito de cinzas endurecidas**

Depósito endurecido, constituído por cinzas grosseiras de cor negra ficando mais rico em *lapilli* pomítico fino, para o topo (Fotografia 2.11). Em algumas exposições o depósito apresenta-se com uma estratificação grosseira. Apresenta 10 cm de espessura máxima.



Fotografia 2.11 - Aspecto do depósito de cinzas endurecidas (em ZC-N19).

### Depósito de cinzas consolidadas

Este depósito, exposto no local do corte ZC-N27, é constituído por cinzas finas consolidadas de cor cinzenta escura, apresentando uma estratificação grosseira. O depósito apresenta uma espessura máxima de 90 cm, a qual varia lateralmente (Fotografia 2.12). Poderá corresponder a um tufo hidromagmático.



Fotografia 2.12 - Aspecto do depósito de cinzas consolidadas (em ZC-N27).

### Depósito de pedra pomes e líticos

Depósito constituído por pedra pomes e líticos de granulometria *lapilli* a *lapilli* fino. O topo é constituído por cinzas de cor castanha avermelhada, possivelmente um paleosolo. Apresenta cerca de 15 cm de espessura no local do corte ZC-N22.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### Depósito de cinzas

Este depósito identificado no local do corte ZC-N27 apresenta uma espessura variável, com uma espessura máxima de 70 cm e desaparecendo lateralmente. Corresponde a um depósito de cinzas de cor acinzentada na base e acastanhada para o topo, apresentando-se alterado.

### Depósito de cinzas litificadas

Este é um depósito bastante característico da Formação de S. Brás, sendo constituído por cinzas muito endurecidas e consolidadas, com pedra pomes de dimensões milimétricas a 5 mm dispersa (Fotografia 2.13). Identificam-se vesículas e cristais de sanidina e anfíbola ou piroxena soltos, alguns dos quais com 2 mm de dimensão. A pedra pomes aparenta distribuir-se em estruturas lenticulares.

No local do corte ZC-N58, este depósito apresenta a espessura máxima de 40 cm. Este nível apresenta-se, em geral, com um aspecto oxidado.



Fotografia 2.13 - Pormenor do depósito de cinzas litificadas (em ZC-N22).

### Depósito de cinzas com pedra pomes disseminada

Com cerca de 35 cm de espessura no local do corte ZC-N58, este depósito é constituído por cinzas alteradas de cor castanha avermelhada, com *lapilli* pomítico fino disseminado e o topo escuro, de cor castanha, alterado em paleosolo.

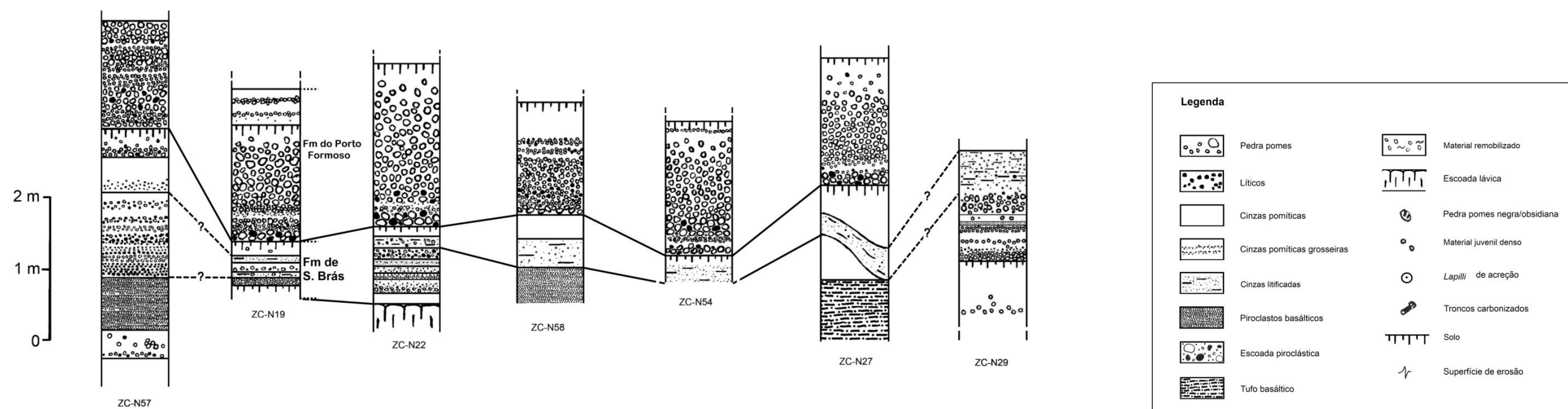
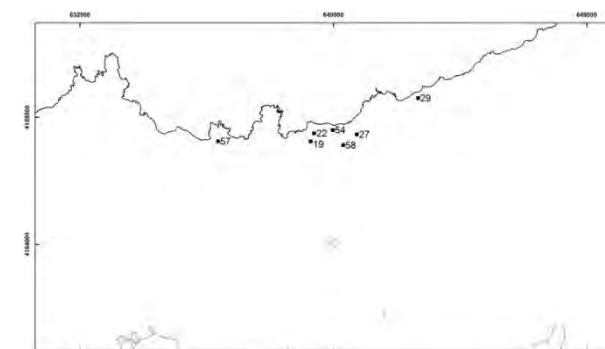


Figura 2.3 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação de S. Brás.

### 2.2.2.2 Formação do Porto Formoso

A Formação do Porto Formoso, definida por Wallenstein (1999), é constituída por uma série de depósitos, essencialmente de natureza pomítica.

No contexto do presente trabalho, os depósitos que constituem a parte superior dessa sequência estratigráfica foram identificados em vários afloramentos (Figura 2.4), caracterizando-se pela presença de um depósito de pedra pomes com níveis de gradação inversa, que apresenta uma espessura máxima de cerca de 2 m, e de um depósito com troncos carbonizados, datado de aproximadamente 21 340 anos B.P. (Wallenstein, 1999).

Em termos estratigráficos estes depósitos situam-se sobre depósitos da Formação de S. Brás e encontram-se limitados superiormente por depósitos da Formação da Chã das Gatas.

#### **Depósito de cinzas com níveis de pedra pomes**

Este depósito é composto por cinzas bastante alteradas, de cor castanha, com clastos de pedra pomes disseminada e apresenta dois níveis de *lapilli* pomítico, um sensivelmente a meio do depósito e outro no topo, ambos numa matriz de cinzas. A pedra pomes encontra-se medianamente alterada.

O depósito foi medido com uma espessura máxima de, aproximadamente, 75 cm no local do corte ZC-N17. O topo encontra-se alterado em paleosolo.

#### **Depósito de pedra pomes com vários níveis de gradação inversa**

Este é um depósito característico devido à sua estrutura interna, onde se distinguem, de um modo geral, três leitos de pedra pomes com gradação granulométrica inversa, conferindo um aspecto estratificado ao depósito, estes encontram-se separados por dois níveis finos de cinzas (Fotografia 2.14). De um modo geral, é um depósito clasto-suportado, de pedra pomes branca, com fractura de queda, pouco vesicular e pobre em cristais. Os líticos são mais abundantes nos níveis inferiores.

Em alguns afloramentos a estrutura interna do depósito não é tão evidente, principalmente a metade superior, que perde o seu aspecto estratificado, com uma atenuação dos níveis com gradação.

No local do corte ZC-N21 o depósito apresenta uma espessura total de 2,10 m.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### - *Nível de lapilli pomítico inferior*

Com cerca de 75 cm de espessura, este nível de pedra pomes apresenta-se na base com uma granulometria fina, seguido de um nível mais grosseiro e rico em líticos. A parte superior é constituída por níveis muito finos de *lapilli* e *lapilli* fino estratificados.

### - *Nível de cinzas*

Com apenas 4 cm de espessura, este é um leito de cinzas pomíticas de cor cinzenta, no qual é possível identificar pequenas vesículas, podendo corresponder a um nível de origem hidromagmática.

### - *Nível de lapilli pomítico intermédio*

Com cerca de 40 cm de espessura, a base deste nível é composta por *lapilli* pomítico muito fino, passando a um leito de pedra pomes, no geral, de dimensão *lapilli* com presença de alguns líticos e a parte superior por pedra pomes mais fina. No local do corte ZC-N21 a parte superior aparece estratificada com níveis muito finos de cinzas.

### - *Nível de cinzas*

Este nível de cinzas pomíticas brancas, observável no local do corte ZC-N17, com cerca de 2 cm de espessura, não é registado nos restantes afloramentos deste depósito.

### - *Nível de lapilli pomítico superior*

Com cerca de 70 cm de espessura este nível é constituído por pedra pomes de dimensão *lapilli*, intercalada por um leito de pedra pomes de dimensão *lapilli* fino e muito fino. A parte superior do depósito é composta por cinzas pomíticas, com clastos de pedra pomes dispersa, alterado em paleosolo de cor castanho claro.



Fotografia 2.14 - Depósito de pedra pomes com vários níveis com graduação granulométrica inversa (em ZC-N17).

### **Depósito de pedra pomes fina com troncos carbonizados**

Este depósito encontra-se datado de  $21\,340 \pm 130$  anos B.P. (Wallenstein, 1999) e, no decurso deste trabalho, apenas foi documentado no local do corte ZC-N17, onde apresenta cerca de 45 cm de espessura. É formado por pedra pomes de granulometria cinza grosseira a *lapilli* fino e por líticos também de granulometria fina e apresenta troncos carbonizados (Fotografia 2.15).



Fotografia 2.15 - Aspecto do depósito de pedra pomes fina com troncos carbonizados (em ZC-N17).

### **Depósito de cinzas com níveis de pedra pomes**

Este depósito encontra-se medianamente alterado e é constituído por cinzas de cor castanha, com pedra pomes disseminada, apresentando dois níveis de pedra pomes sensivelmente a meio do depósito, na matriz de cinza.

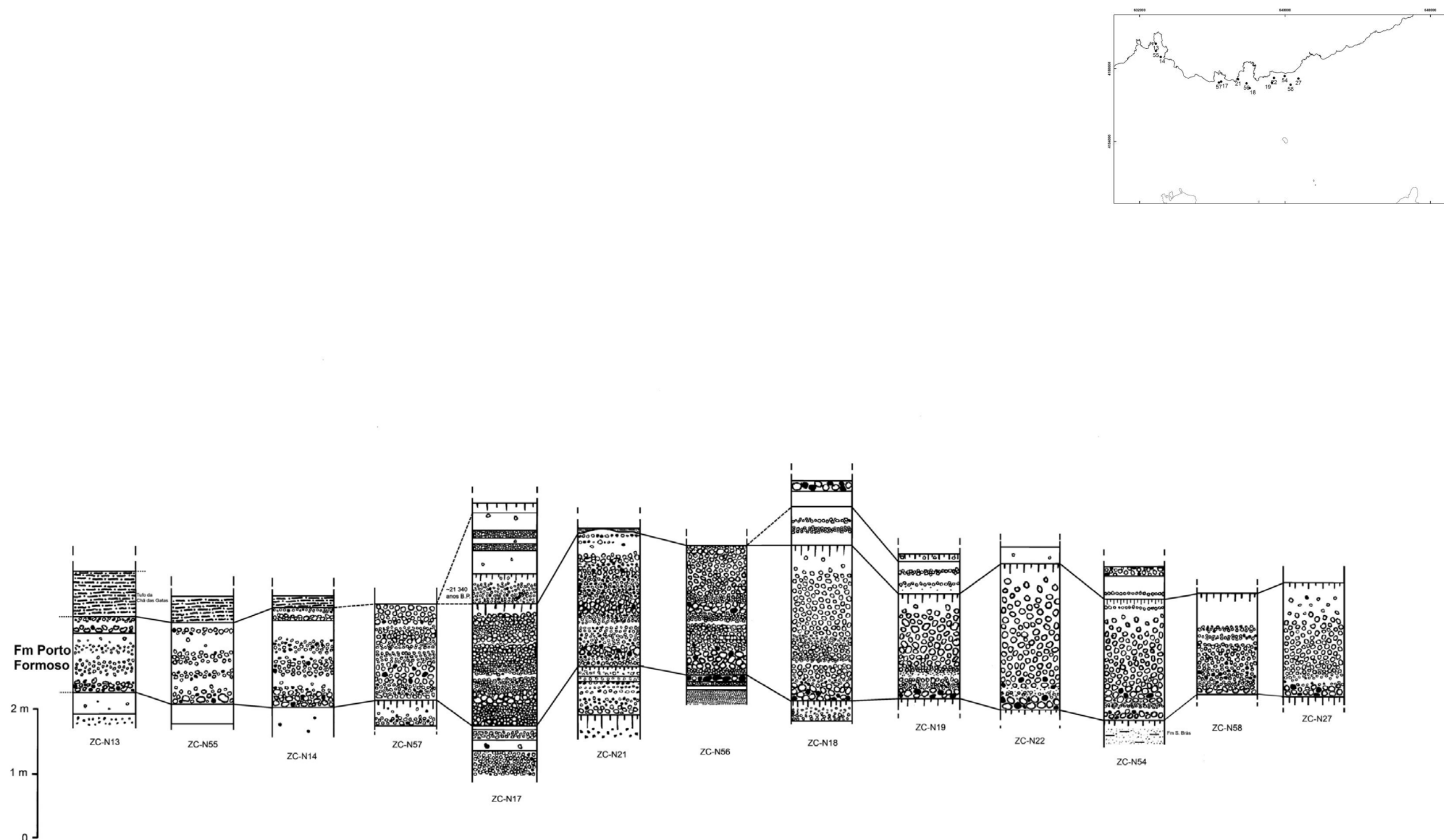


Figura 2.4 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação do Porto Formoso.

### 2.2.2.3 Formação da Chã das Gatas

A Formação da Chã das Gatas foi definida por Wallenstein (1999), sendo mais tarde revista, com contributos do trabalho de Pimentel (2004). No decorrer do presente trabalho, a parte superior da sequência de depósitos vulcânicos desta formação foi identificada em alguns dos afloramentos documentados.

Com base nas informações recolhidas no presente trabalho definem-se duas sequências eruptivas nesta formação: (1) Sequência do Calhau do Cabo e (2) Sequência da Defeira.

#### 2.2.2.3.1 Sequência do Calhau do Cabo

A Sequência eruptiva do Calhau do Cabo, aqui definida, engloba os depósitos da parte inferior da Formação da Chã das Gatas, sendo o seu topo marcado por um depósito de tufo hidromagmático. No presente trabalho, e no que respeita a esta sequência, apenas se documentou o referido depósito hidromagmático.

O tufo hidromagmático de natureza basáltica, registado com uma espessura máxima de cerca de 70 cm na Chã das Gatas (ZC-N11) e na Ponta do Cintrão (ZC-N13) (Figura 2.5), corresponde a um depósito endurecido, estratificado de cinzas – cinzas grosseiras de cor cinza escuro (Fotografia 2.16).

Em termos estratigráficos este depósito encontra-se sobre depósitos da Formação do Porto Formoso.



Fotografia 2.16 - Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (em ZC-N13).

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

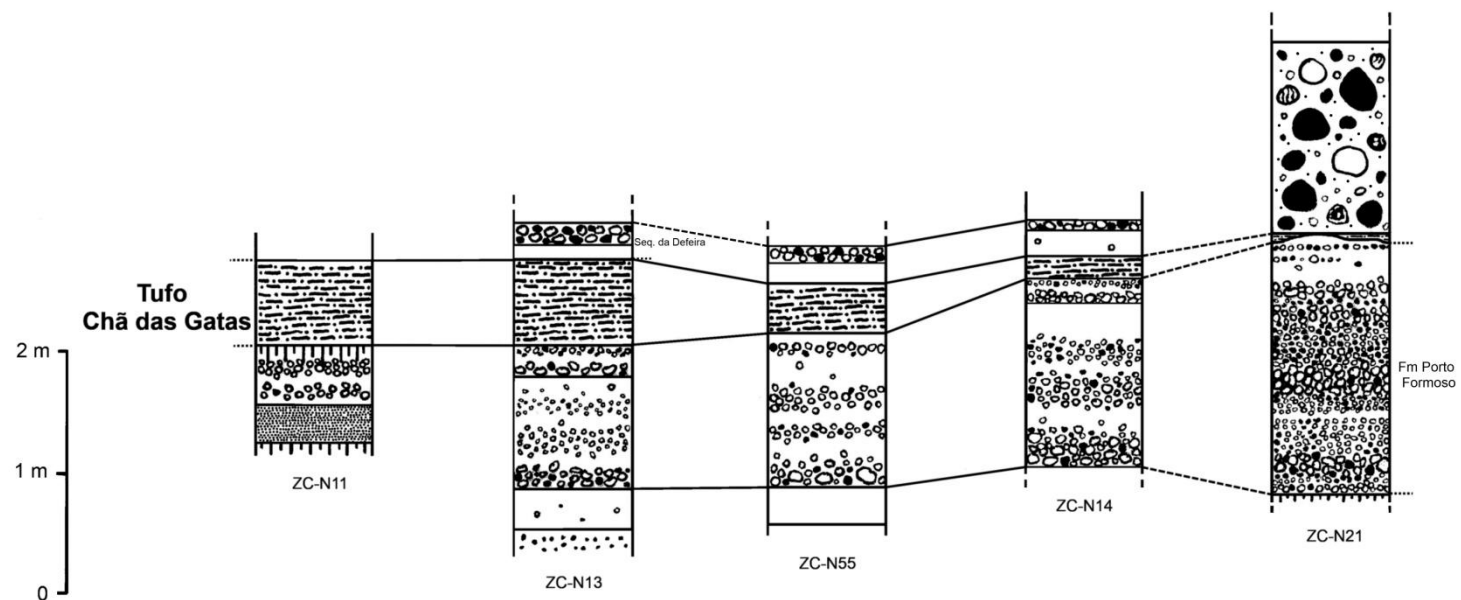
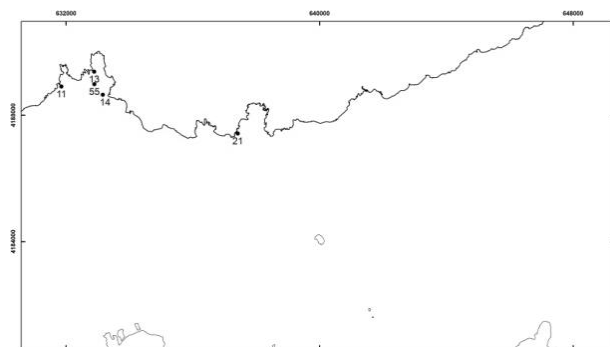


Figura 2.5 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (Sequência do Calhau do Cabo).

### 2.2.2.3.2 Sequência da Defeira

Os depósitos que se incluem na Sequência da Defeira foram observados num maior número de afloramentos e numa área mais vasta do que o Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (Sequência do Calhau do Cabo).

No campo, esta unidade é facilmente identificável, por conter um nível fino de pedra pomes grosseira que contém encraves de natureza basáltica.

Estratigraficamente os depósitos desta unidade geológica foram observados sobre o Tufo hidromagmático da Chã das Gatas e sob a Formação da Coroa da Mata (Figura 2.6).

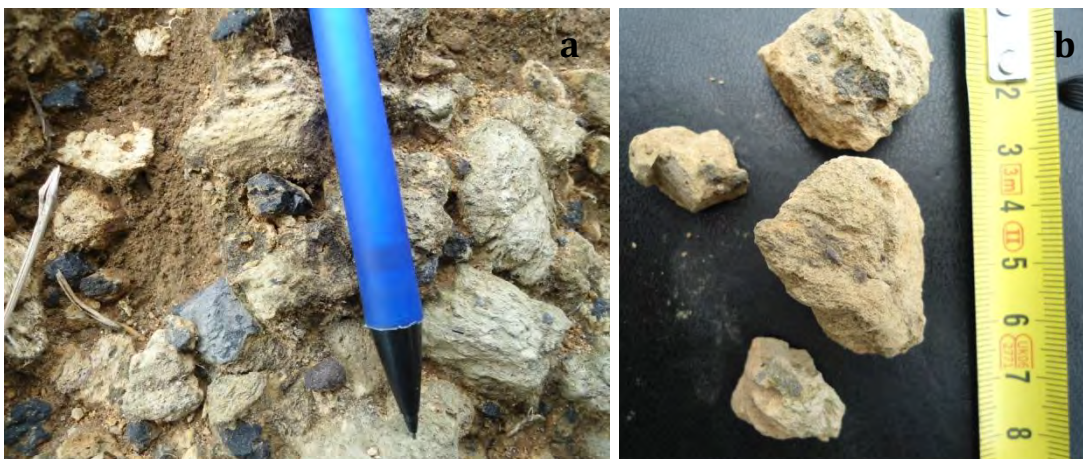
#### Depósito de cinzas alteradas

Corresponde a um depósito de cinzas alteradas, de cor castanha, apresentando clastos de pedra pomes disseminados.

#### Depósito de pedra pomes com encraves basálticos

Consiste num depósito de pedra pomes grosseira, muito rico em líticos de natureza basáltica. A pedra pomes tem uma tonalidade amarelada, é rica em cristais de mica preta e apresenta encraves de natureza basáltica (Fotografia 2.17). Alguns clastos de pedra pomes apresentam, ainda, fragmentos de pedra pomes negra. Em alguns afloramentos observaram-se pequenos fragmentos dispersos de obsidiana.

No local do corte ZC-N52 este depósito apresenta-se com a espessura máxima de 25 cm e os maiores clastos de pedra pomes têm 4 cm e os líticos 1-2 cm.



Fotografia 2.17 - Depósito de pedra pomes com encraves basálticos. (a) Aspecto do depósito no local do corte ZC-N13; (b) Pormenor dos clastos de pedra pomes com encraves de natureza basáltica.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### Depósito de cinzas com pedra pomes disseminada

Este depósito identificado na zona do Cintrão (ZC-N13, ZC-N55) corresponde a um depósito de cinzas pomíticas de cor cinzenta clara, rico em cristais máficos/líticos de dimensão milimétrica, com pedra pomes disseminada (Fotografia 2.18). O depósito apresenta uma espessura máxima de cerca de 75 cm, no local do corte ZC-N13.



Fotografia 2.18 - Aspecto do depósito de cinzas pomíticas com pedra pomes disseminada (em ZC-N13).

### Depósito de pedra pomes rico em líticos

Este depósito identificado no local do corte ZC-N13, com 15 cm de espessura, é constituído por pedra pomes de dimensão *lapilli* e é rico em líticos. Encontra-se bastante alterado, apresentando-se com uma tonalidade acastanhada.

### Depósito de cinzas muito alteradas

Consiste num depósito de cinzas de cor castanha, com níveis lenticulares de pedra pomes, que se encontra sobre o depósito de pedra pomes rico em líticos, descrito anteriormente. Este depósito, com 90 cm de espessura, encontra-se muito alterado, com o topo aparentemente remobilizado e alterado em paleosolo.

### Depósitos de pedra pomes com níveis de cinzas intercalados

Corresponde a uma sequência de níveis de pedra pomes de dimensão *lapilli* fino intercalados por níveis de cinzas pomíticas de cor cinzenta.

No local do corte ZC-N52, um leito de cinzas apresenta níveis lenticulares de *lapilli* pomítico muito fino. Por outro lado, nos locais ZC-N17 e ZC-N19 é possível identificar um nível com estratificação muito fina de cinzas pomíticas e *lapilli* pomítico fino/cinzas grosseiras.

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

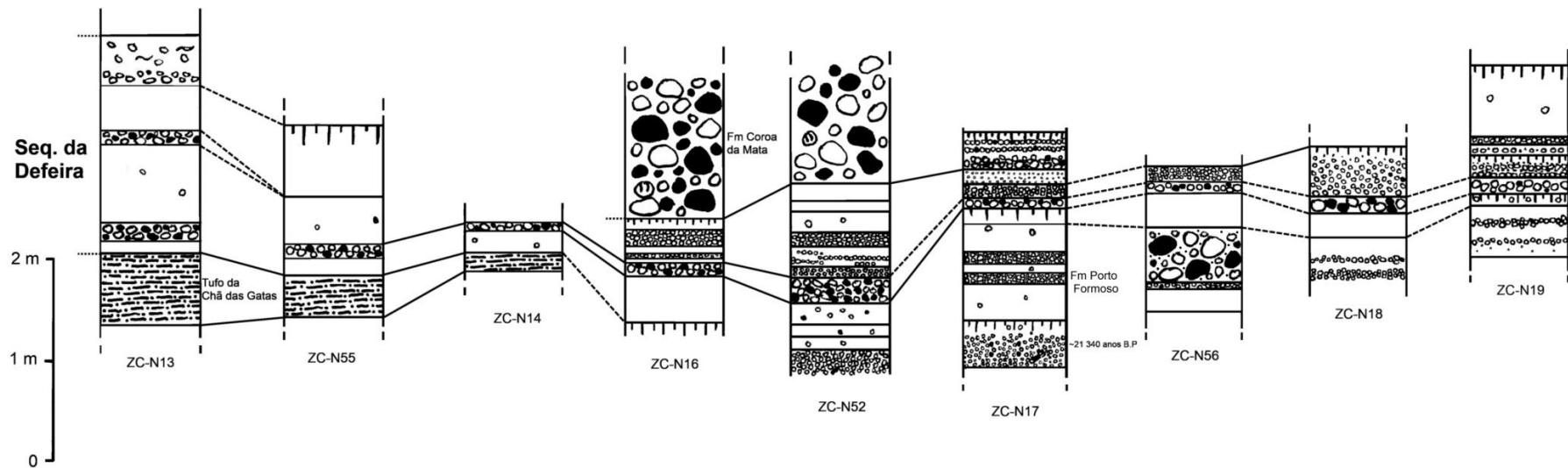
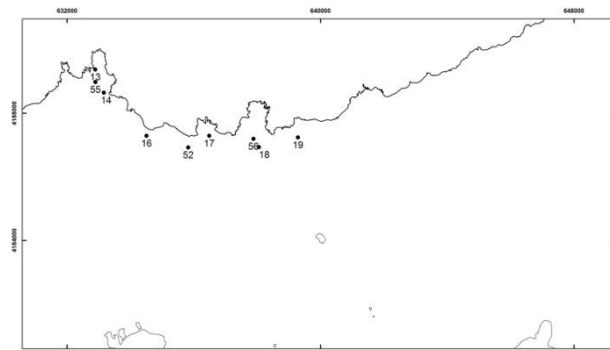


Figura 2.6 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Sequência da Defeira (Formação da Chã das Gatas).

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.2.4 Formação da Coroa da Mata

A Formação da Coroa da Mata encontra-se datada de  $18\ 600 \pm 300$  anos B.P. por Moore & Rubin (1991) e, de um modo geral, consiste num depósito de *lapilli* pomítico de queda grosseiro, rico em líticos grosseiros e em fragmentos de obsidiana, alternado por níveis ricos em cinzas com pedra pomes e líticos dispersos (Figura 2.7).

Esta formação foi documentada com uma espessura máxima de cerca de 10 m na zona do Lameiro (ZC-N15) (Fotografia 2.19) e com 1,53 m de espessura na Ladeira da Velha (ZC-N17).



Fotografia 2.19 - Depósitos da Formação da Coroa da Mata, no local do corte geológico ZC-N15.

De um modo geral, a pedra pomes presente neste depósito tem cor cinzenta, é muito rica em cristais de anfíbola e feldspato, é relativamente densa, pouco vesicular e apresenta-se com fractura de queda. Os líticos são de natureza variada, identificando-se clastos basálticos, alguns com uma cobertura de alteração com brilho iridescente (Fotografia 2.20), clastos de natureza traquítica e clastos com alteração hidrotermal, de cor avermelhada.



Fotografia 2.20 - Aspecto dos líticos com brilho iridescente encontrados na Formação da Coroa da Mata.

De um modo geral, os maiores líticos (máximo medido de 55 cm) são maiores que os maiores clastos de pedra pomes (máximo medido de 45 cm).

Estratigraficamente os depósitos desta formação encontram-se sobre depósitos da Sequência da Defeira (Formação da Chã das Gatas) e cobertos pelo depósito da Formação do Fogo A.

### **Camada de pedra pomes grosseira rica em líticos – L1**

Com 2,20 m de espessura no local do corte ZC-N15, este é um nível de pedra pomes de granulometria grosseira rico em líticos e com fragmentos de obsidiana, numa matriz de cinzas. Este nível apresenta-se ligeiramente mais grosseiro para o topo.

### **Nível de cinzas com leitos de *lapilli* – C1**

Nível de cinzas pomíticas alternadas com leitos, com variação lateral de espessura, de cinzas grosseiras e *lapilli* pomítico. Apresenta uma espessura aproximada de 50 cm em ZC-N15.

### **Camada de pedra pomes grosseira rica em líticos – L2**

Este nível de pedra pomes rico em líticos e com fragmentos de obsidiana, apresenta alguns clastos de pedra pomes negros no interior. Tem, em ZC-N15, cerca de 1,50 m de espessura.

### **Nível de cinzas com leitos de *lapilli* fino – C2**

Com cerca de 30 cm de espessura este nível de cinzas apresenta leitos de pedra pomes de dimensão *lapilli* fino, com líticos também finos e alguns clastos de maiores dimensões disseminados. Estes leitos apresentam variação lateral de espessura.

### **Camada de pedra pomes grosseira rica em líticos – L3**

Este nível, de pequena espessura, aproximadamente 50 cm em ZC-N15, é, também, como o restante depósito, composto por pedra pomes de granulometria grosseira e rico em líticos.

### **Nível de cinzas com blocos disseminados – C3**

Consiste num nível de cinzas pomíticas, com cerca de 30 cm de espessura (em ZC-N15), com blocos de pedra pomes e de líticos disseminados.

### **Camada de pedra pomes grosseira rica em líticos – L4**

Com cerca de 1,70 m de espessura (ZC-N15), esta camada de pedra pomes grosseira, rica em líticos e obsidiana, apresenta o topo rico em cinzas grosseiras e *lapilli* fino, com alguns clastos pomíticos mais grosseiros disseminados e, também, bastante rico em líticos.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

---

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### **Nível de cinzas com blocos pomíticos – C4**

Este nível corresponde a cinzas de cor castanha rósea, com blocos de pedra pomes disseminados, apresentando 20 cm de espessura no local do corte ZC-N15.

### **Camada de *lapilli* grosseiro – L5**

Este é um nível de pequena espessura, cerca de 15 cm em ZC-N15, constituído por pedra pomes e líticos de dimensão *lapilli* grosseiro.

### **Nível de cinzas com leitos de *lapilli* fino – C5**

Este nível com 40 cm de espessura (ZC-N15) é constituído por cinzas de cor castanho claro, com leitos de cinzas grosseiras e *lapilli* pomítico fino e alguns clastos de pedra pomes dispersos.

### **Camada de pedra pomes grosseira rica em líticos – L6**

Esta camada é constituída por pedra pomes grosseira, com líticos e obsidiana. O topo encontra-se alterado num paleosolo bastante desenvolvido, de cor castanho escuro. Tem uma espessura total de cerca de 2,40 m no local do corte ZC-N15.

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

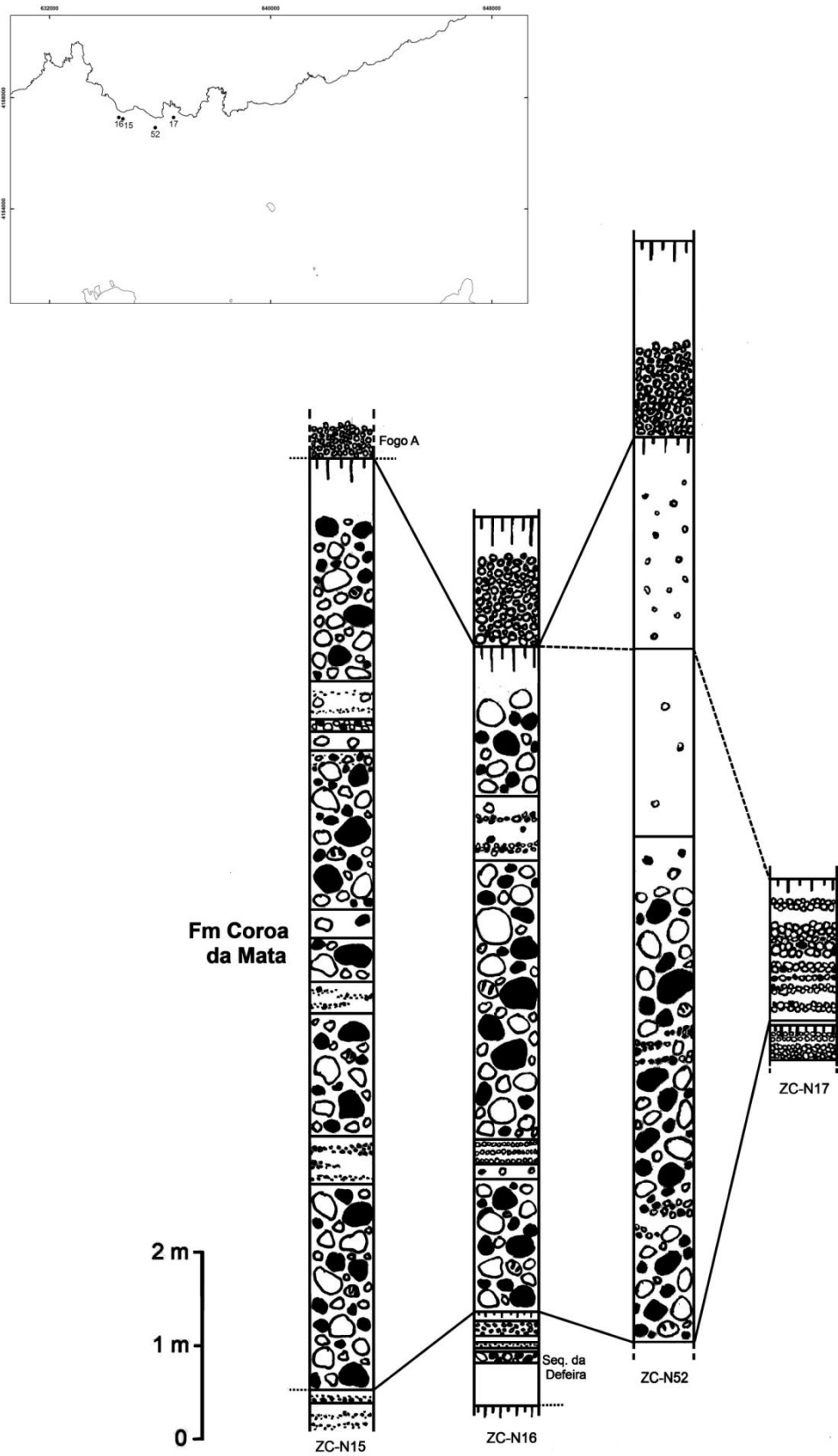


Figura 2.7 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas da Formação da Coroa da Mata.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.2.5 Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A

Em alguns dos afloramentos documentados no sector leste da área de estudo observa-se uma sequência de depósitos de cinzas, que, no geral, apresentam-se bastante alterados. Esta sequência encontra-se sob o depósito da Formação do Fogo A (Figura 2.8; Fotografia 2.21).

#### Depósito de cinzas pomíticas alteradas

Com 40 cm de espessura no local do corte ZC-N45, este depósito corresponde a um nível de cinzas pomíticas alteradas, de cor castanha.

#### Depósito de cinzas com fragmentos consolidados

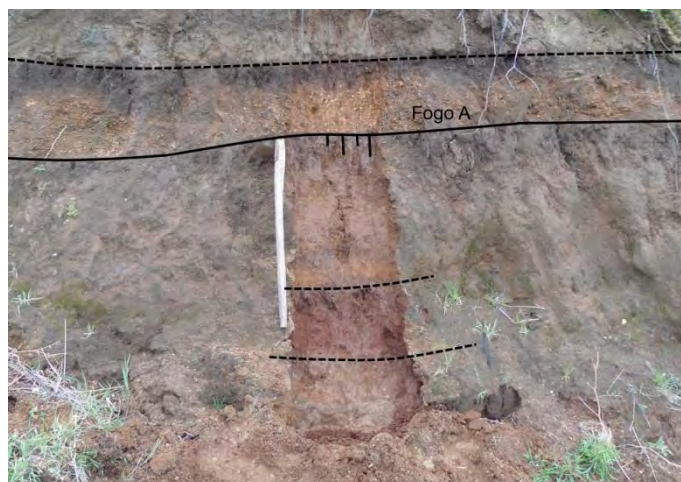
Corresponde a um depósito de cinzas de cor castanha avermelhada, com clastos angulares consolidados de cor, também, castanha avermelhada, rico em cristais e com aparência oxidada.

Este depósito foi identificado nos locais dos cortes ZC-N45 e ZC-N49.

#### Depósito de cinzas muito alteradas

Este depósito é constituído por cinzas muito alteradas, de cor castanha, que no local do corte ZC-N45, apresenta um nível de *lapilli* pomítico disseminado e bastante alterado perto da base.

O topo deste depósito encontra-se alterado num paleosolo de cor castanho escuro.



Fotografia 2.21 - Aspecto dos depósitos da Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A (em ZC-N45).

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

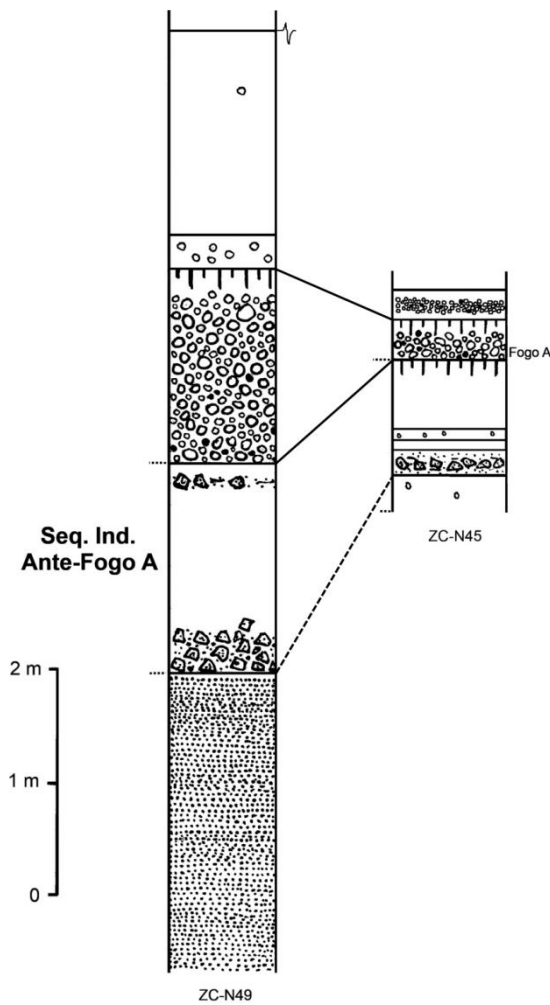
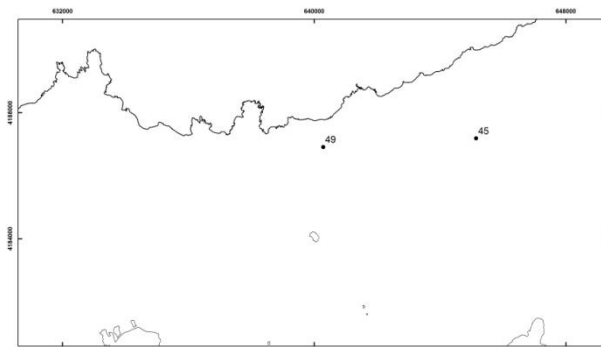


Figura 2.8 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas dos depósitos da Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.3 UNIDADE RECENTE

Na unidade das formações recentes incluem-se os depósitos vulcânicos de idade inferior a aproximadamente 5 000 anos, identificados pelo sua posição estratigráfica relativamente aos depósitos da Formação do Fogo A (4 600 anos).

Na área de estudo, e no âmbito do presente trabalho, identificaram-se os depósitos do Fogo A, Fogo B, Fogo 1563 (Walker & Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978) e Furnas C (Pacheco, 1995). Não se conseguiram reconhecer, na área em estudo, depósitos associados a outras erupções vulcânicas posteriores ao Fogo A e descritos por aqueles autores em outros locais, devido à sua pequena espessura e estado de alteração.

#### 2.2.3.1 Formação do Fogo A

Foram identificados depósitos da Formação do Fogo A em grande parte dos afloramentos documentados no contexto do presente trabalho.

Os depósitos de queda desta formação apresentam uma grande dispersão e puderam ser observados em muitos afloramentos. Os depósitos ignimbríticos foram observados com espessuras consideráveis na zona do *graben* da Ribeira Grande e na zona da Mata do Botelho (flanco norte do Vulcão do Fogo) sob o depósito Fogo B (ZC-N02; ZC-N03).

De um modo geral, o depósito de queda, identificado nas zonas mais afastadas da fonte, consiste num depósito de pedra pomes, rico em cristais de sanidina soltos e moderadamente rico em líticos, com alguns sienitos. A pedra pomes tem cor amarelada, é vesicular, por vezes com uma textura fibrosa, e rica em cristais de sanidina. Em algumas das exposições observaram-se clastos de pedra pomes bandada e escura. O topo encontra-se sempre alterado em paleosolo de cor castanho escuro, com aproximadamente 20 cm de espessura (Fotografia 2.22).



Fotografia 2.22 - Aspecto de depósito da Formação do Fogo A no local do corte ZC-N43.

Os depósitos desta formação foram identificados em inúmeros afloramentos na área de estudo (Figura 2.9), tendo sido utilizados essencialmente como referência estratigráfica durante o trabalho de campo desenvolvido. Apesar de estes terem sido documentados, optou-se por não apresentar cortes geológicos com as respectivas correlações estratigráficas, uma vez que esta formação geológica já foi alvo de vários estudos detalhados (e.g. Walker & Croasdale, 1971; Wallenstein, 1999).

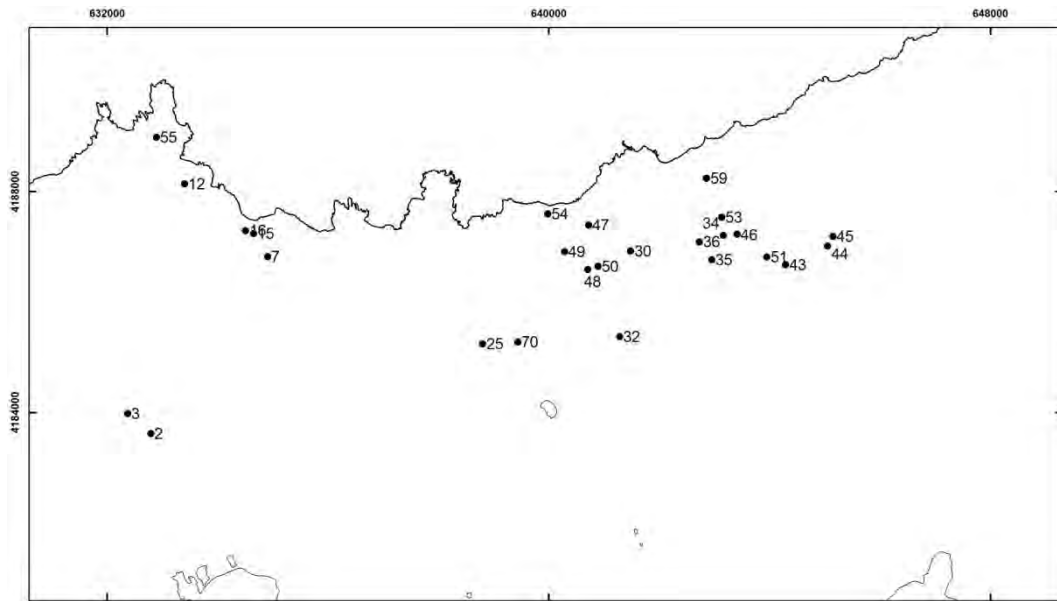


Figura 2.9 - Mapa de localização dos afloramentos de depósitos da Formação do Fogo A.

### 2.2.3.2 Fogo B

Fogo B corresponde a um depósito de cinzas pomíticas de cor branca a cinza claro, com leitos de *lapilli - lapilli* fino constituídos por pedra pomes, líticos e cristais soltos (Fotografia 2.23). Em alguns afloramentos estes níveis de *lapilli* são lenticulares.

Este depósito foi medido com espessura máxima superior a 2,20 m na Mata do Botelho (em ZC-N02), tendo sido identificado em afloramentos próximos da Mata do Botelho (Ribeira Grande) e na Ribeirinha (Figura 2.10).

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

---

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)



Fotografia 2.23 - Pormenor do depósito Fogo B no local do corte ZC-N06.

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

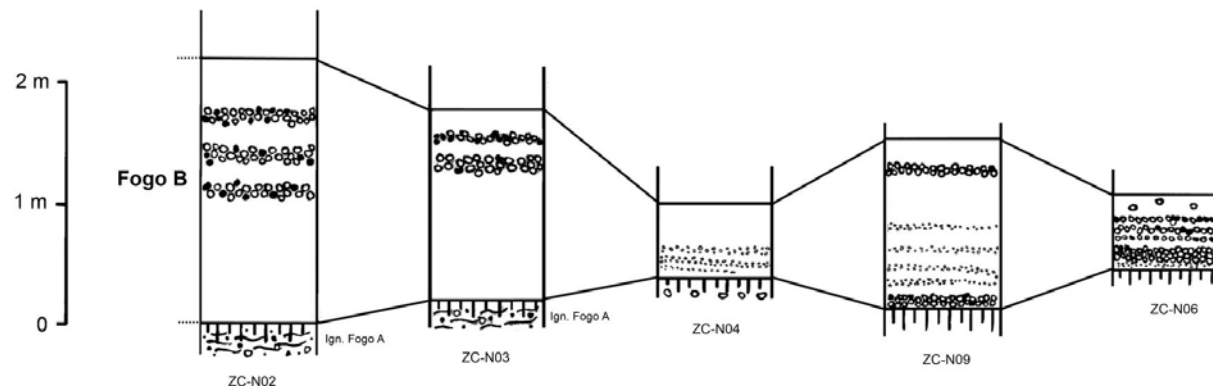
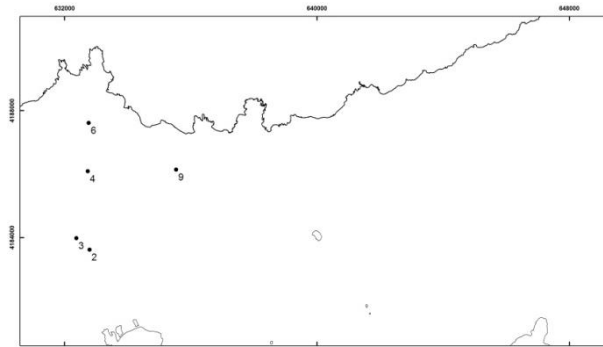


Figura 2.10 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Fogo B.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.3.3 Furnas C

Na área de estudo, o depósito Furnas C foi documentado, no geral, como uma camada de cinzas pomíticas massivas de cor cinza claro com alguns leitos de *lapilli* pomítico difusos. A pedra pomes que constitui os níveis de *lapilli* é de cor cinza claro com alguns cristais de sanidina. O topo encontra-se alterado em paleosolo de cor castanho claro.

Na generalidade dos afloramentos, a base do depósito apresenta-se estratificada e nos afloramentos menos alterados é possível identificar diversos níveis ricos em *lapilli* de acreção (Figura 2.11).

No local do corte ZC-N51 o depósito Furnas C encontra-se sobre um nível de cinzas de cor cinzento escuro, com cerca de 15 cm de espessura. Neste afloramento o depósito apresenta uma estratificação fina, com níveis ricos em *lapilli* de acreção e níveis mais resistentes de cinza intercalados. Alguns desses níveis apresentam-se com ondulações (Fotografia 2.24). Para o topo, a estratificação vai ficando mais grosseira, passando a cinzas maciças com nível de *lapilli* pomíticos.



Fotografia 2.24 - Pormenor da estratificação de níveis de cinzas, com ondulações (em ZC-N51).

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

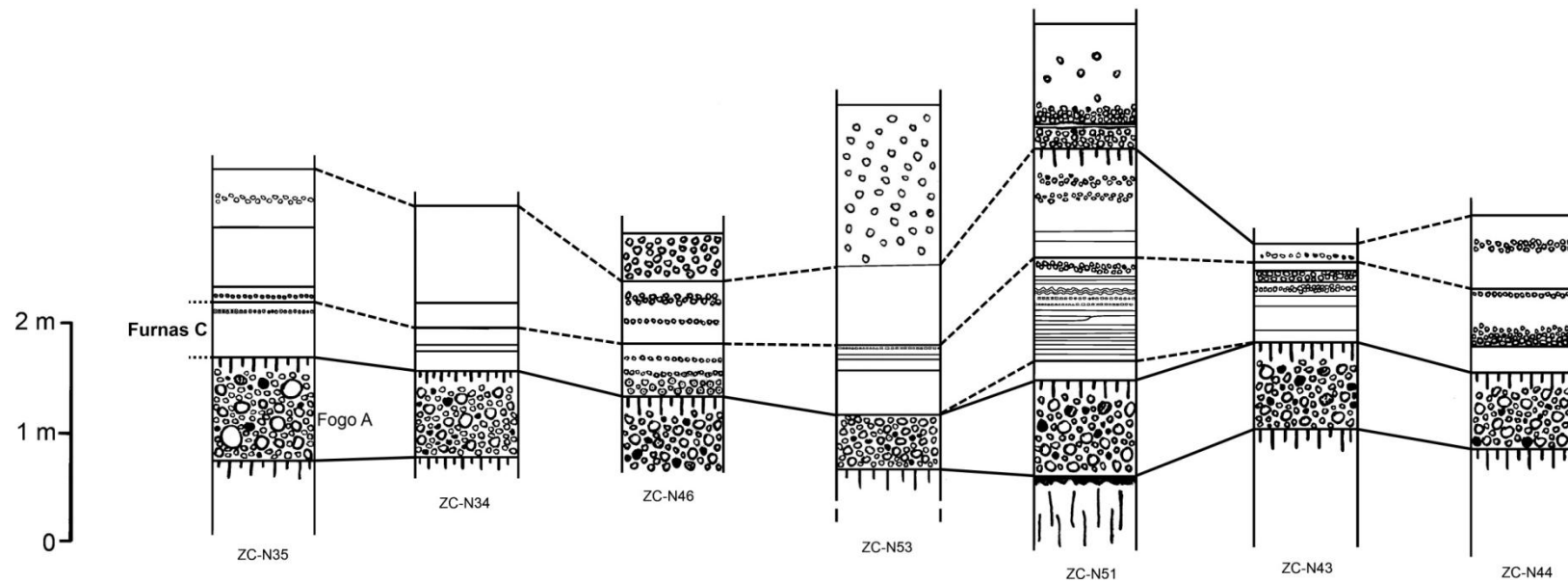
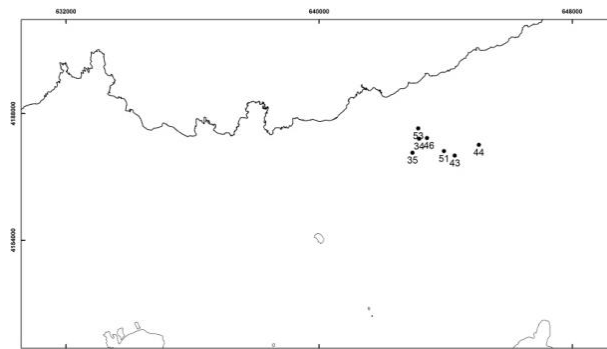


Figura 2.11 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Furnas C.

## 2. VULCANOESTRATIGRAFIA

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### 2.2.3.4 Fogo 1563

Na área de estudo, o depósito Fogo 1563 corresponde, de um modo geral, a um depósito bem estratificado, constituído por pedra pomes de cor cinzento claro, pouco vesicular, com fractura de queda, intercalado por níveis de cinzas pomíticas (Figura 2.12). Identificam-se líticos sieníticos e basálticos. A fracção fina do depósito é muito rica em líticos, identificando-se também cristais de sanidina soltos, mas em pouca quantidade.

A estratificação deste depósito é mais evidente nos afloramentos mais próximos do eixo central da ilha. Nos afloramentos mais periféricos a sua estrutura interna encontra-se atenuada e este apresenta-se moderadamente alterado e com o topo remobilizado.

No local do corte ZC-N23 o depósito apresenta cerca de 2,10 m de espessura, encontrando-se estratificado, com níveis de pedra pomes de granulometria *lapilli* e *lapilli* fino e níveis de cinzas (Fotografia 2.25). Alguns níveis de cinzas não têm continuação lateral e outros têm leitos de *lapilli* pomítico fino no interior, podendo estes corresponder a níveis de *surges*.



Fotografia 2.25 - Aspecto do depósito Fogo 1563 no local do corte ZC-N23.

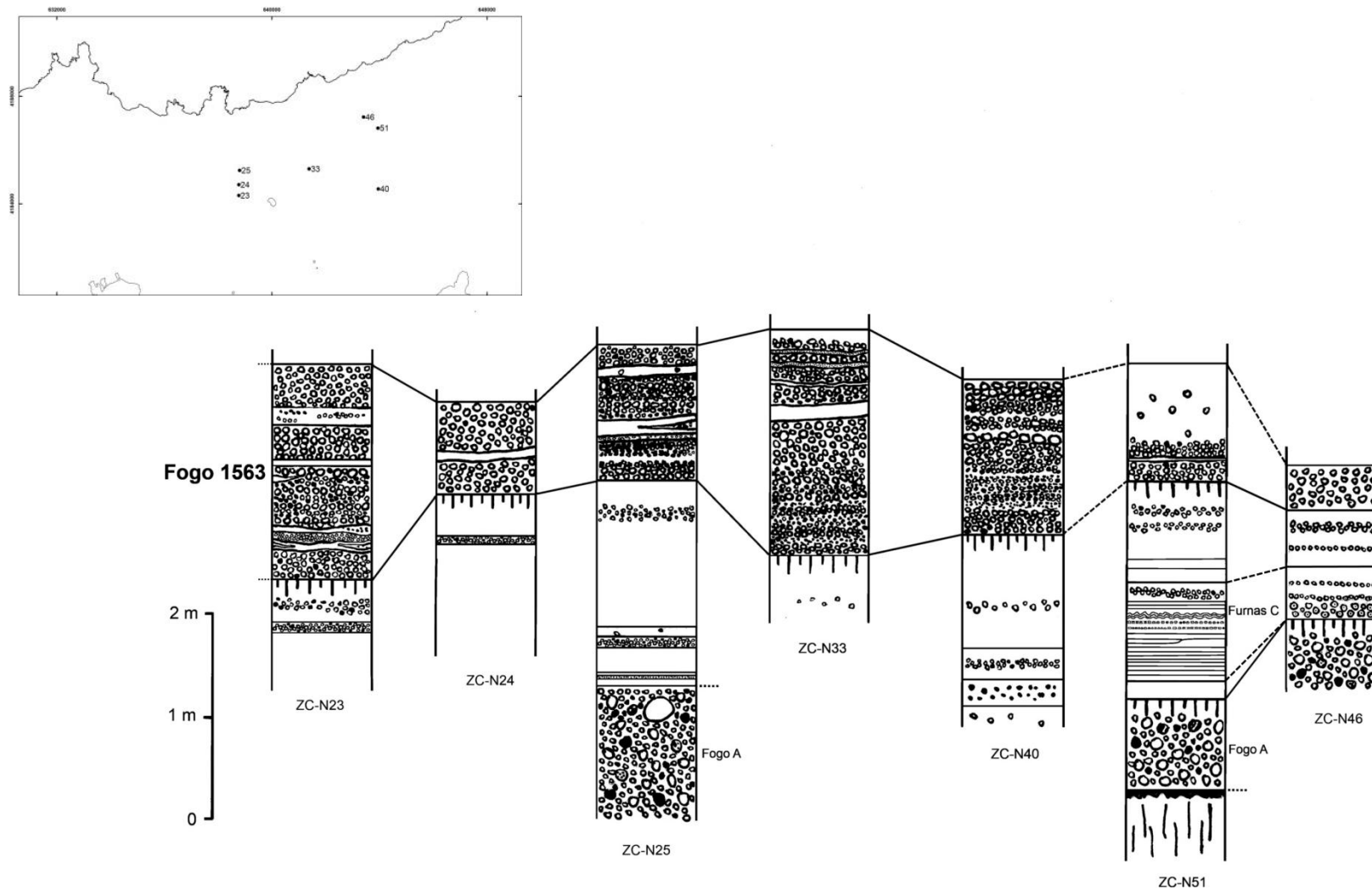


Figura 2.12 - Cortes geológicos representativos e correlações estratigráficas do depósito Fogo 1563.

## 3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 3.1 NOTA PRÉVIA

Como já referido anteriormente, a área de estudo desenvolve-se entre as freguesias da Ribeirinha e da Lomba da Maia, concelho de Ribeira Grande, abrangendo a zona de transição entre o Vulcão do Fogo e o Vulcão das Furnas, na costa norte da ilha de São Miguel.

Os trabalhos de campo, descritos no capítulo 2, permitiram realizar algumas correlações estratigráficas entre as formações geológicas identificadas e descritas para os vulcões do Fogo e das Furnas e identificar novos depósitos vulcânicos. Estes correspondem, de um modo geral, a depósitos de natureza pomítica, de queda e de fluxo. Identificaram-se, também, depósitos de escórias basálticas, de granulometria fina, possivelmente associados a cones monogenéticos existentes na proximidade.

As informações recolhidas não foram suficientes para se obter conclusões definitivas acerca da proveniência de todos os depósitos ou formações geológicas identificadas na área.

A identificação dos depósitos, com a conseqüente realização de correlações estratigráficas, foi dificultada pela pequena espessura que grande parte dos depósitos apresenta, por na generalidade dos casos estes serem constituídos por piroclastos de dimensão *lapilli* fino a cinzas e por, em alguns afloramentos, se apresentarem bastante alterados, com os depósitos de cinzas a assumirem uma tonalidade castanha e a pedra pomes amarelada e a decompor-se devido à meteorização.

A pequena espessura que grande parte dos depósitos apresenta e a constituição de grande parte dos mesmos por clastos de granulometria fina pode dever-se, considerando a sua localização, ao facto de corresponderem a depósitos distais, tendo perdido as suas características mais distintivas. Assim, existem poucos depósitos característicos com representatividade na área de estudo.

A geomorfologia deste sector da ilha apresentou-se também como uma condicionante ao trabalho, uma vez que nos afloramentos mais próximos ao eixo longitudinal da ilha apenas se identificaram, de um modo geral, depósitos resultantes de erupções ocorridas nos últimos 5 000 anos.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

#### 3.2 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS NA ÁREA DE ESTUDO

Com a identificação e definição de novas formações geológicas e com a integração de dados de formações já descritas por outros autores, foi possível relacionar algumas unidades estratigráficas temporalmente, embora, por outro lado, não tenha sido evidente para todos os depósitos a sua origem, no Vulcão do Fogo, no Vulcão das Furnas ou Sistema Vulcânico Fissural do Congro.

As informações obtidas permitiram perceber a área de dispersão de algumas formações geológicas, realizar correlações estratigráficas e obter idades relativas para alguns depósitos. Estes dados conduziram à organização dos depósitos em três grandes grupos estratigráficos: (1) Unidade de Base, (2) Unidade Intermédia e (3) Unidade Recente, com base na sua disposição espacial e idade (Figura 3.1).

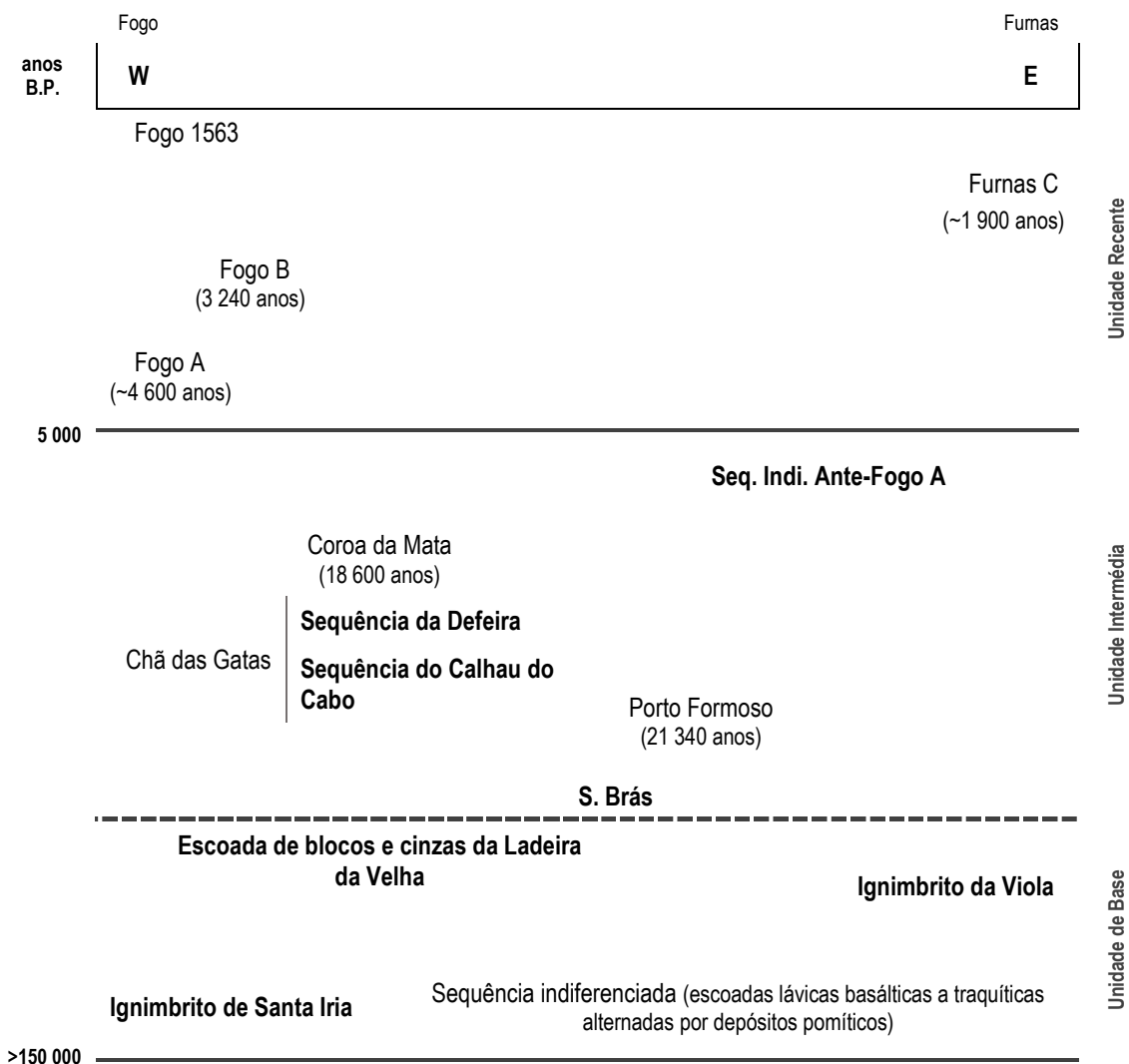


Figura 3.1 - Esquema simplificado das unidades estratigráficas identificadas na região central da costa norte da ilha de São Miguel, organizadas com base na sua idade e principal área de dispersão. Encontram-se em destaque as unidades e formações estratigráficas propostas no presente trabalho.

Não se conseguiu determinar a idade absoluta entre as unidades de Base e Intermédia. Apenas se pôde constatar que o limite inferior da Unidade Intermédia terá uma idade superior aos 21 340 anos, datação da Formação do Porto Formoso. Por tal motivo não se estabeleceu qualquer correlação entre este limite e os limites entre os grupos Inferior e Superior do Vulcão do Fogo (Wallenstein, 1999) e entre os grupos Intermédio e Inferior do Vulcão das Furnas (Guest *et al.*, 1999).

#### 3.2.1 UNIDADE DE BASE

As unidades mais antigas foram, de um modo geral, observadas no litoral. Estas sequências mais antigas compreendem uma diversidade de produtos vulcânicos, incluindo escoadas lávicas e depósitos piroclásticos.

Dos produtos vulcânicos expostos, destacam-se as escoadas lávicas de natureza traquítica que representam um volume considerável nas arribas costeiras, entre o Calhau do Cabo e a Ponta de São Brás. Estas espessas escoadas lávicas formam a base das arribas, encontrando-se cobertas por depósitos piroclásticos, genericamente de natureza pomítica, que por sua vez, em alguns locais, se encontram sobrepostos por novas escoadas lávicas. Wallenstein (1999) já tinha referido estas escoadas lávicas traquíticas expostas na base das arribas da costa norte, as quais incluiu no seu Grupo Inferior (que compreende os depósitos de idade superior a 40 000 anos).

O mesmo autor refere que estas escoadas lávicas traquíticas, observadas na base das arribas, devem ter, genericamente, a mesma idade que uma escoada lávica traquítica datada de  $117\ 000 \pm 24\ 000$  anos, amostrada quase no topo da sondagem realizada em 1973 no flanco norte do Vulcão do Fogo.

Na área de estudo, na zona da Ladeira da Velha, identificam-se depósitos que estarão possivelmente associados ao colapso de domos e/ou escoadas lávicas traquíticas – Escoada de blocos e cinzas da Ladeira da Velha. A sua inserção na Unidade de Base prende-se com o facto de existirem vários depósitos indiferenciados sobre este depósito e abaixo da Sequência da Defeira (Formação da Chã das Gatas), a qual foi observada naquele local.

As escoadas lávicas de natureza basáltica aparecem em menor proporção do que as mais evoluídas, tendo uma presença relevante em São Brás e aumentando a sua frequência de afloramentos para leste.

##### 3.2.1.1 Sequência Eruptiva no Porto de Santa Iria

No porto de Santa Iria encontra-se exposta uma sequência de produtos vulcânicos, com cerca de 70 m de espessura total que engloba escoadas lávicas e depósitos piroclásticos de queda e de fluxo.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

No topo desta sequência encontram-se depósitos identificados como pertencentes à Formação da Chã das Gatas (Figura 3.2).

Esta sequência é constituída por produtos vulcânicos que representam uma parte significativa da história eruptiva do Vulcão do Fogo, incluindo um ignimbrito com cerca de 15 m de espessura – Ignimbrito de Santa Iria. Gandino *et al.* (1985) dataram um tufo localizado numa arriba a leste do porto de Santa Iria de há  $103\,000 \pm 7\,000$  anos, sendo que a sequência de piroclastos que engloba esse tufo se encontra intercalada entre as escoadas lávicas traquíticas da base das arribas e de alguns dos domos traquíticos localizados nesta área (Wallenstein, 1999).

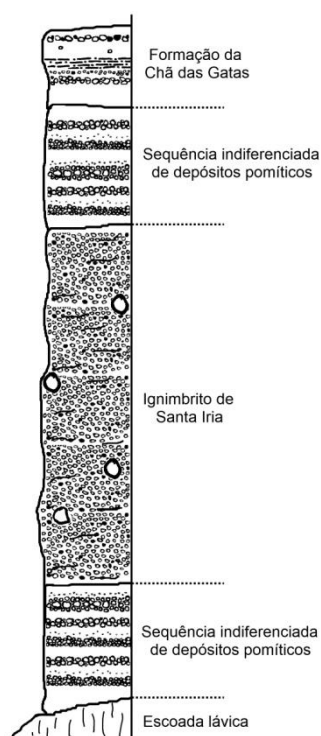


Figura 3.2 - Corte geológico esquemático representativo da sequência eruptiva exposta no porto de Santa Iria, Ribeirinha (não se encontra à escala).

#### 3.2.1.2 Sequência Eruptiva na Praia da Viola

Na praia da Viola, como na generalidade da costa norte deste sector da ilha de São Miguel as escoadas lávicas, diferenciadas, encontram-se intercaladas por depósitos piroclásticos de espessura considerável.

Na arriba da praia da Viola identificam-se depósitos muito grosseiros, que poderão estar associados a processos de desmonte do maciço vulcânico (depósitos de *lahar* ou depósitos de vertente)

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

e depósitos ignimbríticos, sendo possível identificar várias unidades de fluxo (Figura 3.3), as quais encontram-se a preencher um paleovale.

Moore (1991b) cartografou esta área como escoadas lávicas basálticas. Contudo, o trabalho de campo mostrou que esta área é dominada por importantes depósitos ignimbríticos.



Figura 3.3 - Corte representativo esquemático dos produtos vulcânicos expostos na arriba da praia da Viola, Lomba da Maia (não se encontra à escala).

Dada a espessura dos depósitos presentes nesta praia, é possível que estes estejam associados a um evento importante da evolução dos vulcões centrais presentes neste sector da ilha de São Miguel. Considerando a localização da praia da Viola relativamente aos principais vulcões centrais da ilha e a geomorfologia do terreno, entende-se que a Formação do Ignimbrito da Viola estará associada a uma importante erupção explosiva de natureza traquítica, possivelmente associada ao Vulcão das Furnas (Figura 3.4).

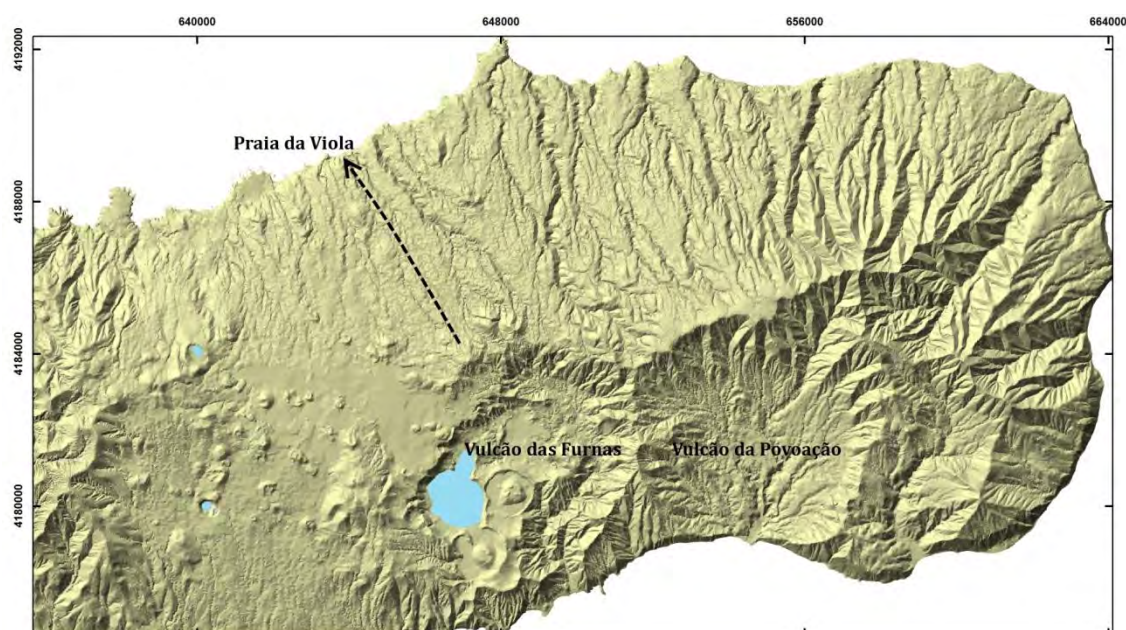


Figura 3.4 - Localização da praia da Viola, no contexto geográfico dos vulcões das Furnas e da Povoação. A seta a tracejado representa a provável direcção do fluxo das escoadas piroclásticas que podem ter estado na origem do Ignimbrito da Viola.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

As unidades ignimbríticas expostas na praia da Viola podem estar associadas a uma ou várias erupções ainda não documentadas ou, por outro lado, podem estar relacionadas com outras formações ignimbríticas já documentadas no flanco sul do Vulcão das Furnas. De qualquer modo, será necessário realizar mais trabalhos de campo para perceber qual das hipóteses é a mais correcta.

Encontram-se documentadas cerca de seis formações geológicas com depósitos ignimbríticos para o Vulcão das Furnas (Tabela 3.1), as quais foram, maioritariamente, observadas no flanco sul desse vulcão.

Tabela 3.1 - Lista e características gerais das formações geológicas, com depósitos ignimbríticos associados ao Vulcão das Furnas, definidas por Guest *et al.* (1999). Dados e datações de Moore (1991a), Duncan *et al.* (1999) e Guest *et al.* (1999).

Nome da Formação	Fácies (não soldado/soldado)	Espessura máxima	Idade (anos B.P.)	Formação de caldeira
Formação das Amoras	Não soldado	?	<95 000	
Formação da Albufeira	Não soldado	?	93 000 a 44 000	
Formação do Ignimbrito da Povoação	Unidades ignimbríticas soldadas e não soldadas	>40 m	30 000	Formação da primeira caldeira (mais antiga)
Formação do Tufo	Não soldado	10 m	27 000	
Formação do Ignimbrito da Ponta Garça	Não soldado	15 m	17 000	
Unidade do Pico do Ferro (Formação do Salto dos Ingleses)	Soldado	?	12 000	Formação da segunda caldeira? (mais recente)

A datação do Ignimbrito da Viola poderia ajudar na correlação deste com os ignimbritos já estudados para o Vulcão das Furnas. Do que foi possível observar, na margem esquerda da ribeira dos Miguéis o depósito ignimbrítico, pobre em clastos grosseiros, encontra-se sob uma escoada lávica a que Moore (1991b) atribui a designação de *f5m*, o que, de acordo com a sua estratigrafia, terá uma idade inferior ao intervalo entre 10 620 e 26 500 anos B.P., definido para outros produtos vulcânicos referenciados por aquele autor. Deste modo, aqueles depósitos ignimbritos teriam uma idade superior à definida por aquele intervalo. Por outro lado, não foi possível estabelecer-se que estes depósitos sejam os mesmos que afloram na margem direita da referida linha de água. Face a estas incertezas, todos estes depósitos ignimbríticos foram agrupados e colocados nesta Unidade de Base, por se poderem localizar abaixo das unidades descritas para a Unidade Intermédia.

Considera-se, assim, importante o estudo mais aprofundado dos depósitos expostos neste local, que permitirá aprofundar o conhecimento acerca da evolução dos vulcões centrais deste sector da ilha de São Miguel.

### 3.2.2 UNIDADE INTERMÉDIA

Os dados recolhidos no decorrer do trabalho de campo e a sua posterior análise e interpretação permitiram a execução de correlações estratigráficas entre depósitos e o estabelecimento de idades relativas de algumas formações geológicas (Figura 3.5).

Definiu-se uma nova unidade estratigráfica – Formação de S. Brás – e foi possível complementar informações de algumas formações geológicas definidas por Wallenstein (1999) – Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata.

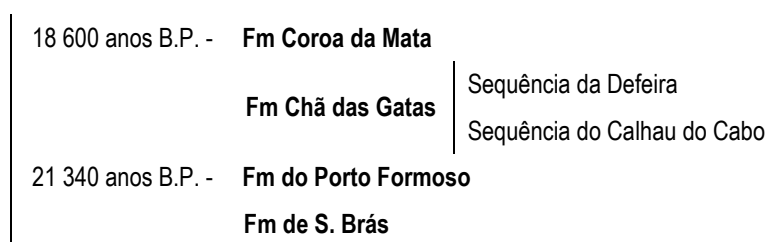


Figura 3.5 - Esquema simplificado da organização estratigráfica das formações geológicas incluídas na Unidade Intermédia do presente trabalho.

#### 3.2.2.1 Formação de S. Brás

A Formação de S. Brás encontra-se sob depósitos da Formação do Porto Formoso, sendo portanto mais antiga que 21 340 anos B.P..

Esta formação apresenta diversos depósitos de cinzas, pouco espessos, e relativamente endurecidos. Contudo, é distintiva por apresentar um depósito de cinzas extremamente consolidadas, distinguindo-se no seu interior cristais subcentimétricos de sanidina, anfíbola ou piroxena e clastos de pedra pomes de granulometria cinza grosseira – *depósito de cinzas litificadas*. Este depósito, como já foi referido, foi observado em afloramentos em S. Brás e Maia, apresentando-se em muitos deles com aspecto oxidado (Fotografia 3.1).



Fotografia 3.1 - Amostra do depósito de cinzas litificadas da Formação de S. Brás.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Não foi possível interpretar de forma segura a origem deste depósito, contudo este aparenta, em alguns afloramentos, algumas características de depósitos hidromagmáticos, conseguindo-se observar vesículas possivelmente criadas pelo espaço ocupado por bolhas de ar. No local do corte ZC-N27 este depósito apresenta uma estratificação grosseira, que se interpreta como resultado de ter existido algum fluxo aquando da sua deposição.

Num acesso à freguesia do Porto Formoso, pelo caminho da Ladeira da Velha, observou-se (em ZC-N57) um depósito formado por clastos juvenis densos (*dense juvenile clasts*), de natureza composicional intermédia, com uma textura intermédia entre pedra pomes e escórias, intercalado com níveis finos de pedra pomes e cinzas (Fotografia 3.2). A constituição litológica, estrutura interna e posição estratigráfica deste depósito levanta a hipótese deste incluir um nível com uma fácies menos consolidada do depósito de cinzas litificadas da Formação de S. Brás.



Fotografia 3.2 - Depósito constituído por clastos de composição intermédia, intercalados por níveis de pedra pomes (exposto em ZC-N57).

A Formação de S. Brás inclui, ainda, um tufo soldado, documentado no local do corte ZC-N27, que poderá ter origem hidromagmática. O facto de se ter identificado este depósito apenas neste local impossibilitou uma possível localização ou identificação do seu centro emissor.

#### 3.2.2.2 Formação do Porto Formoso

A Formação do Porto Formoso definida e documentada por Wallenstein (1999), na zona do acesso à praia dos Moinhos pela Ladeira da Velha, é constituída por uma sequência de depósitos piroclásticos, na sua maioria de natureza pomítica, incluindo depósitos de cinzas e *lapilli* de queda e um depósito ignimbrítico.

No decurso dos trabalhos de campo, foram observados com mais frequência os depósitos que constituem a parte superior desta formação. Deste modo, tendo em conta as novas informações recolhidas, apenas se apresentam considerações acerca da sequência que constitui a parte superior da Formação do Porto Formoso.

Dos depósitos documentados, salienta-se o depósito de pedra pomes que apresenta vários níveis com gradação inversa e que se encontra imediatamente subjacente ao *depósito de pedra pomes fina com troncos carbonizados*, datado de cerca de 21 340 anos por Wallenstein (1999).

Este *depósito de pedra pomes com vários níveis de gradação inversa* foi documentado com uma espessura máxima de 2,40 m no Porto Formoso. Os afloramentos onde este depósito apresenta as maiores espessuras foram identificados, de um modo geral, na zona central da área de estudo.

Na região da Ponta do Cintrão, imediatamente abaixo do depósito do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas, foi registado um depósito de pedra pomes, com granulometria *lapilli* fino a cinzas (cortes ZC-N13, ZC-N14, ZC-N55), que dada a sua estrutura interna e posição estratigráfica poderá corresponder a uma fácies distal do depósito da Formação do Porto Formoso. No Porto Formoso, no local do corte ZC-N21, este depósito apresenta 2,10 m de espessura, encontrando-se coberto por um depósito de tufo hidromagmático, muito pouco espesso, o qual poderá corresponder ao depósito de tufo da Formação da Chã das Gatas, atrás referido e que será discutido no seguinte ponto deste subcapítulo.

Os dados recolhidos não foram suficientes para se identificar um centro emissor associado a este depósito, podendo ser proveniente dos vulcões centrais do Fogo ou das Furnas. Contudo, considerando a sua distribuição, espessura e granulometria não é afastada a hipótese deste ser proveniente de uma fonte proximal, num centro eruptivo relativamente central, no Sistema Vulcânico Fissural do Congro.

O *depósito de pedra pomes fina com troncos carbonizados* foi encontrado apenas num afloramento (ZC-N17), o que impossibilitou acrescentar algo de novo ao já descrito por Wallenstein (1999).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

---

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

#### 3.2.2.3 Formação da Chã das Gatas

A Formação da Chã das Gatas foi, como referido anteriormente, definida e descrita por Wallenstein (1999) no flanco norte do Vulcão do Fogo. Esta unidade é formada por um conjunto de depósitos pomílicos, alternados por depósitos de escórias basálticas e por um tufo hidromagmático.

Wallenstein (1999) documentou um ignimbrito no topo desta formação que, mais tarde, Pimentel (2004) atribuiu como pertencente à Formação da Ribeira Chã (Figura 3.6). Esta informação permitiu datar os depósitos da Formação da Chã das Gatas, que por estarem abaixo do Ignimbrito da Formação da Ribeira Chã, seriam mais antigos que 8-12 000 anos, conforme idade atribuída por Wallenstein (1999) a esta unidade estratigráfica do Vulcão do Fogo.

A informação recolhida no presente trabalho é condicente com essa datação, uma vez que a Formação da Coroa da Mata, que data de aproximadamente 18 600 anos, se encontra também a cobrir depósitos da Formação da Chã das Gatas.

Por outro lado, depósitos da Formação do Porto Formoso, datado de há aproximadamente 21 340 anos, encontram-se subjacentes a depósitos da Formação da Chã das Gatas (e.g. locais dos cortes ZC-N17 e ZC-N21), permitindo inferir que esses depósitos da Formação da Chã das Gatas terão uma idade entre os 21 340 e os 18 600 anos B.P..

No presente trabalho, dada a localização e distribuição dos depósitos documentados nesta formação, definiram-se duas sequências eruptivas: (1) Sequência do Calhau do Cabo, que engloba os depósitos mais antigos desta formação, até ao depósito do tufo hidromagmático (inclusive); e (2) a Sequência da Defeira, que inclui os depósitos posteriores ao tufo hidromagmático.

## CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

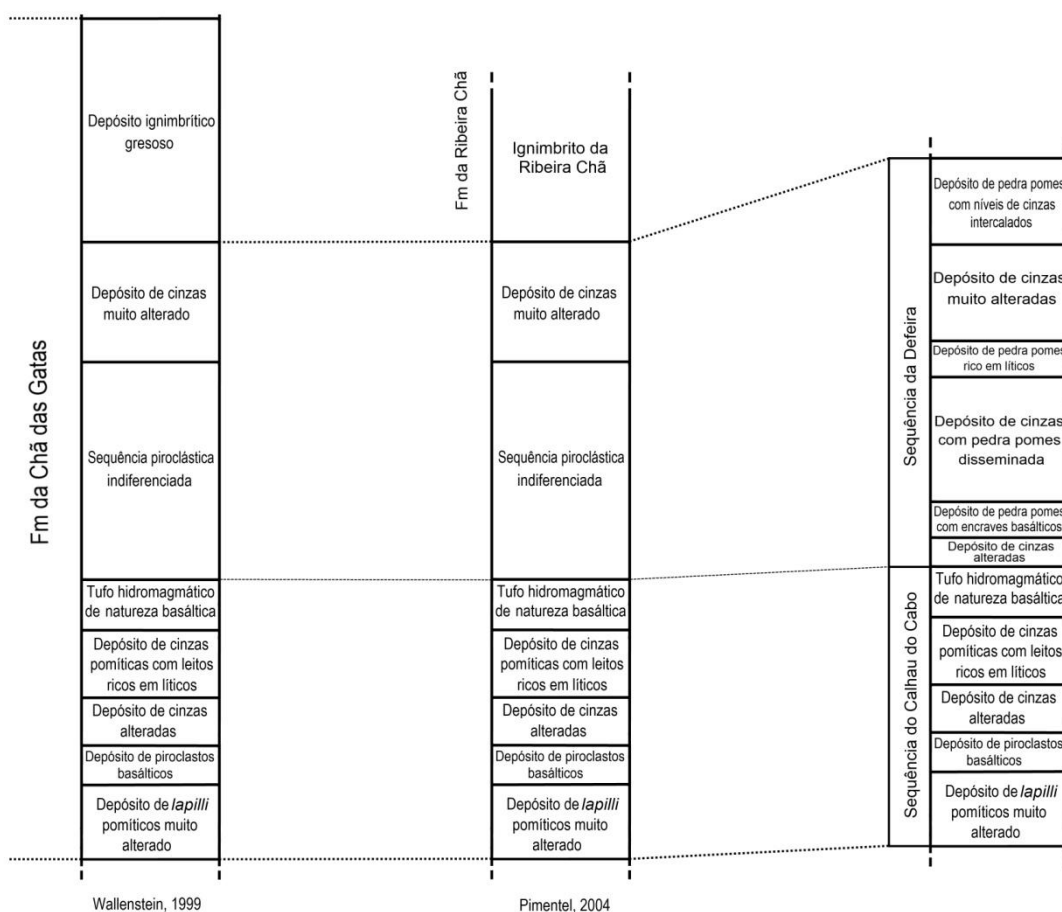


Figura 3.6 - Coluna estratigráfica indicativa da Formação da Chã das Gatas, segundo o descrito por Wallenstein (1999), com a adaptação de Pimentel (2004) e com a organização proposta no presente trabalho.

### 3.2.2.3.1 Sequência do Calhau do Cabo

Relativamente à Sequência do Calhau do Cabo, os depósitos foram estudados por outros autores (Wallenstein, 1999; Pimentel, 2004), que os identificaram na zona do Calhau do Cabo e Pico das Freiras.

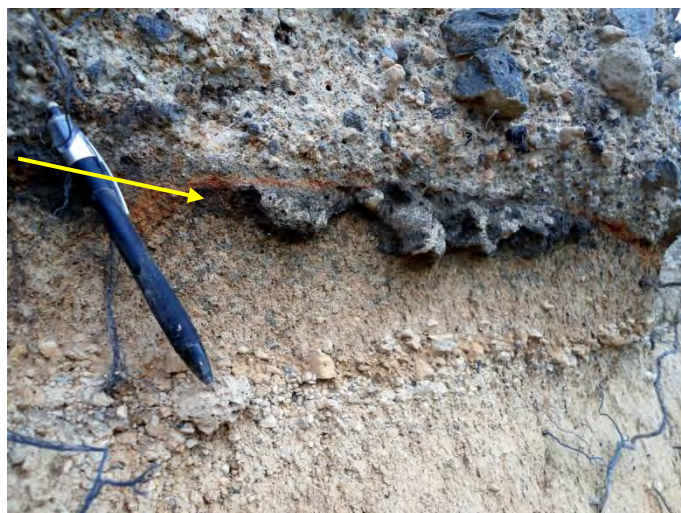
Dos depósitos que constituem esta sequência eruptiva, aqui é apenas apresentado o depósito do tufo hidromagmático de natureza basáltica – Tufo hidromagmático da Chã das Gatas, o qual materializa o topo desta sequência, dado que não foram obtidas novas informações relativas aos restantes depósitos.

O tufo hidromagmático apresenta, num afloramento na Ponta do Cintrão, uma espessura de 70 cm e poderá corresponder ao mesmo depósito, também de natureza basáltica, observado na zona do Porto Formoso (ZC-N21), sobre o depósito de pedra pomes com vários níveis de gradação inversa da Formação do Porto Formoso (Fotografia 3.3).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Considerando a localização do depósito, as suas características, espessura e posição estratigráfica, é possível que este depósito documentado no Porto Formoso corresponda ao Tufo hidromagmático da Chã das Gatas.



Fotografia 3.3 - Tufo hidromagmático identificado no Porto Formoso, no local do corte ZC-N21.

A título comparativo, pode referir-se que na ilha do Faial, durante a erupção do Vulcão dos Capelinhos (1958-59), os depósitos de queda apresentaram espessuras de cerca de 10 cm a 13 cm do centro eruptivo (Garcia, 1964 *in* Pacheco, 2001). É possível observar na Figura 3.7, que este depósito apresenta uma espessura de cerca de 10-13 cm de espessura numa vasta área, ao longo de um eixo de dispersão de 5 a 8 km.

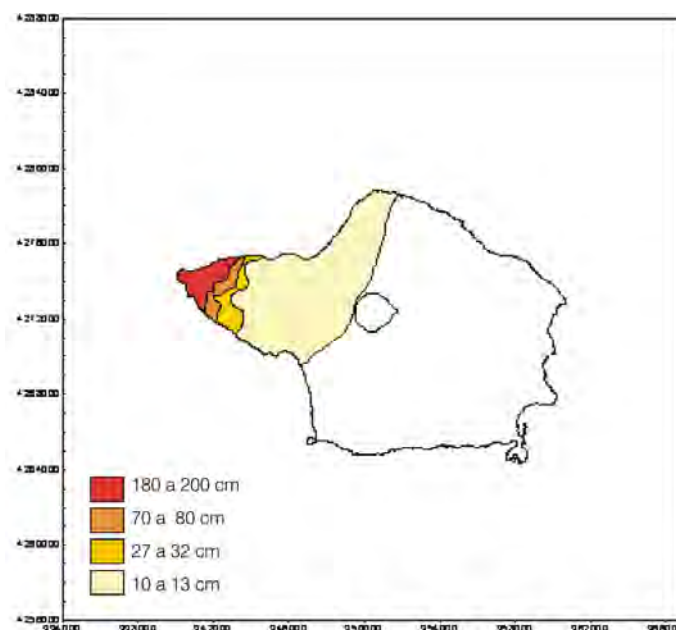


Figura 3.7 - Mapa da dispersão das cinzas da erupção no Vulcão dos Capelinhos em Junho de 1958 (Garcia, 1964 *in* Pacheco, 2001).

No caso presente, a distância entre ZC-N13, onde o depósito do tufo hidromagmático apresenta 70 cm de espessura, e ZC-N21, onde este apresenta uma espessura máxima de 5 cm, é de aproximadamente 5 km, sendo, então, possível que o tufo presente em ZC-N21 corresponda ao Tufo hidromagmático da Chã das Gatas.

O mapa de isopacas do depósito do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (Figura 3.8) indica que a localização do centro eruptivo tenha sido ao largo da ilha de São Miguel, a norte-noroeste da Ponta do Cintrão, tal como já sugerido por Wallenstein (1999).

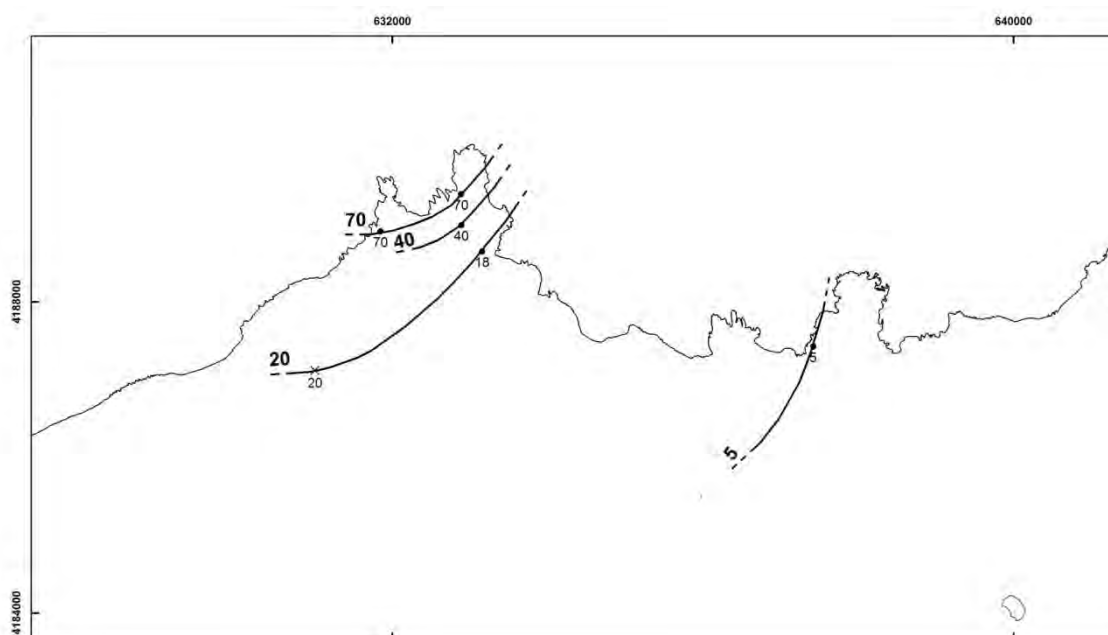


Figura 3.8 - Isopacas (em centímetros) da totalidade do depósito do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas (• - Dados do presente trabalho; x - Dados de Wallenstein, 1999).

### 3.2.2.3.2 Sequência da Defeira

Os depósitos que compreendem a Sequência da Defeira foram maioritariamente documentados na zona da Ponta do Cintrão e a leste deste local. Tal como anteriormente descrito, esta sequência engloba vários depósitos de cinzas e alguns leitos de pedra pomes, de pequena espessura e que, na generalidade, se apresentam com granulometria fina.

Em termos estratigráficos os depósitos que constituem a Sequência da Defeira encontram-se sobre o Tufo hidromagmático da Chã das Gatas e os depósitos da Formação do Porto Formoso, mais especificamente do depósito datado de cerca de 21 340 anos (datação de Wallenstein, 1999), e subjacentes aos depósitos da Formação da Coroa da Mata, datados de 18 600 anos (datação de Moore & Rubin, 1991).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

A Sequência da Defeira é distintiva pela presença do *depósito de pedra pomes com encraves basálticos* que, pelas suas singularidades, possibilitou o estabelecimento de correlações estratigráficas. Este depósito foi documentado em afloramentos desde a Ponta do Cintrão até S. Brás.

As dificuldades encontradas na identificação da sua proveniência, devem-se principalmente ao facto do depósito manter um registo de espessuras e granulometria muito regular e homogéneo nos afloramentos documentados em diferentes locais.

Uma possível explicação para essa ocorrência é a existência de condições meteorológicas, como vento forte dos quadrantes E ou W, durante a erupção, resultando na dispersão do depósito segundo a direcção E-W, tal como o observado no depósito Fogo 1563. Em todo o caso, as informações recolhidas no trabalho de campo não são suficiente para permitir estimar a zona de proveniência do *depósito de pedra pomes com encraves basálticos*.

Relativamente aos restantes depósitos que constituem a Sequência da Defeira, a ausência de características distintivas nos depósitos de cinzas e de *lapilli* pomítico fino e a sua pequena espessura não permite que se afirme com certeza que se trate de facto dos mesmos depósitos em todos afloramentos, nem qual a sua proveniência.

#### 3.2.2.4 Formação da Coroa da Mata

A Formação da Coroa da Mata, datada de 18 600 anos B.P. (Moore & Rubin, 1991), foi definida e identificada por Wallenstein (1999), que observou a formação geológica no flanco norte do Vulcão do Fogo. Contudo, o autor não conseguiu observar a base do depósito, em qualquer dos afloramentos então documentados.

No presente trabalho foi possível observar e documentar a totalidade do depósito desta formação em diversos afloramentos, o qual foi registado com uma espessura máxima de cerca de 10 m. No seu topo encontra-se um paleosolo de cor castanha bastante desenvolvido, encontrando-se coberto pelo depósito da Formação do Fogo A. Em termos estratigráficos, esta formação foi identificada a cobrir depósitos da Sequência da Defeira (Formação da Chã das Gatas).

Tal como o detalhado no capítulo anterior, a Formação da Coroa da Mata é constituída por depósitos grosseiros, sendo muito característica pela abundância de líticos de natureza variada, de pedra pomes rica em cristais e pela presença de obsidiana. Os níveis mais grosseiros são alternados por leitos pouco espessos de cinzas que podem corresponder a depósitos de *surge*.

A medição da espessura total do depósito, em vários locais, permitiu o traçado das isopacas (Figura 3.9), que confirmam o cone da Coroa da Mata como centro emissor do depósito. A variação do

valor médio da dimensão dos três maiores clastos de pedra pomes (MP) e de líticos (ML), determinado em cada afloramento e para o mesmo nível do depósito, permitiu confirmar aqueles dados, embora não tenha sido possível o traçado das respetivas isopletas.

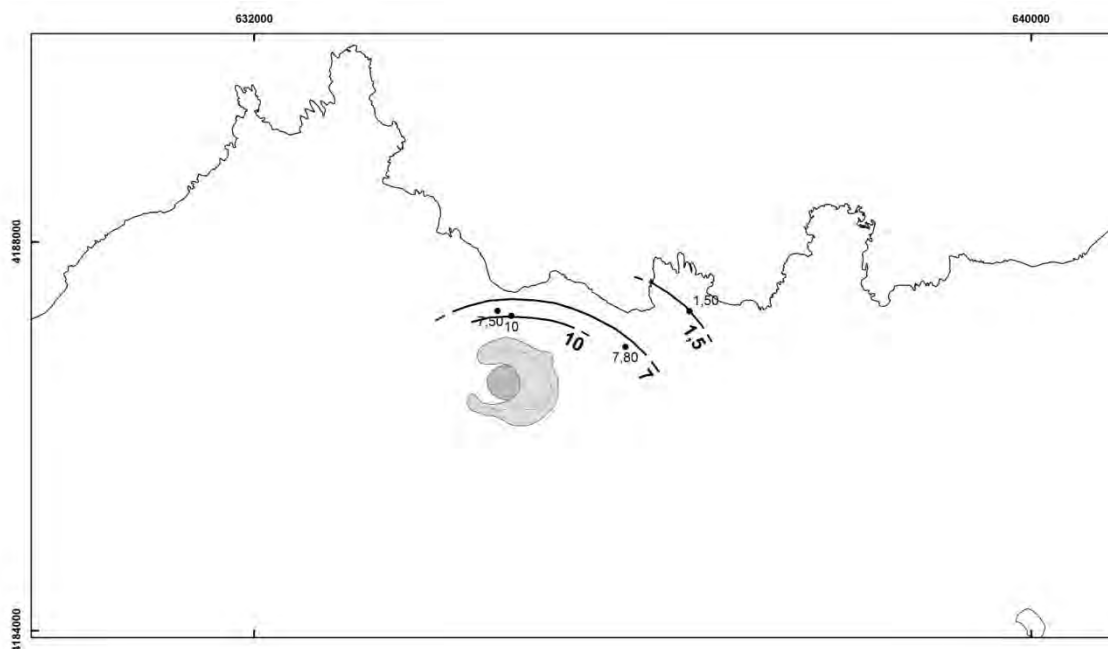


Figura 3.9 - Isopacas da espessura total (em metros) da Formação da Coroa da Mata. A cinzento encontra-se identificado o centro emissor e o domo traquítico da Coroa da Mata, de acordo com o proposto por Moore (1991a) e Wallenstein (1999).

### 3.2.2.5 Sequência Indiferenciada Ante-Fogo A

No sector mais leste da área de estudo, o depósito do Fogo A encontra-se sobre depósitos, predominantemente, compostos por cinzas bastante alteradas, de cor castanha. Frequentemente estes medem mais de 2 m de espessura. Contudo, dado o seu estado de alteração não é possível perceber com certeza se se trata de um conjunto de depósitos ou se de um único.

A espessura destes depósitos alterados coloca a possibilidade de ter existido um intervalo relativamente longo de baixa ou ausência de actividade eruptiva nos sistemas vulcânicos que formam o sector central da ilha de S. Miguel, pelo menos de magnitude considerável, no período anterior à erupção que deu origem aos depósitos da Formação do Fogo A. Essa possibilidade está de acordo com o previamente constatado por Guest *et al.* (1999) e Wallenstein (1999) respectivamente para os vulcões das Furnas e Fogo, sendo que neste último caso esta ausência de actividade eruptiva seria anterior à erupção da Formação do Pisão (Wallenstein, 1999).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

---

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

Com efeito, e considerando as unidades estratigráficas ante-Fogo A, previamente descritas para os vulcões do Fogo e das Furnas, nota-se que as mesmas têm, de um modo geral, uma idade próxima dos 10 000 anos. No caso do Vulcão do Fogo, as formações imediatamente anteriores ao Fogo A são: (1) a Formação do Pisão, datada por Wallenstein (1999) de 4 760 anos, identificada apenas no flanco sul do vulcão, (2) as Formações do Espigão e do Poço do Cavalo, ambas com idade provável no intervalo entre 8-10 000 e 5 000 anos (Pimentel, 2004), e (3) a Formação da Ribeira Chã, com idade provável de 8-12 000 anos (Wallenstein, 1999). Relativamente ao Vulcão das Furnas, há a ocorrência da Formação do Pico do Canário, datada de há aproximadamente 6 600 anos (Moore, 1991b), mas que é muito localizada e está associada a um centro eruptivo no bordo leste da caldeira das Furnas, e (2) a Unidade do Pico do Ferro, da Formação do Salto dos Ingleses (Guest *et al.* 1999), datada de cerca de 12 000 anos (Moore, 1991a).

#### 3.2.3 UNIDADE RECENTE

Para efeitos do presente trabalho, a Unidade Recente inclui os depósitos com idade inferior a cerca de 5 000 anos, identificados na área de estudo. O seu reconhecimento foi possível devido à sua posição relativamente à Formação do Fogo A.

##### 3.2.3.1 Depósitos correlacionados

Na área de estudo foram identificados três depósitos associados ao Vulcão do Fogo: (1) Fogo A, (2) Fogo B, e (3) Fogo 1563 e um ao Vulcão das Furnas, o depósito Furnas C.

Uma vez que, como já referido anteriormente, estes depósitos foram já estudados pormenorizadamente por outros autores (Walker & Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978; Pacheco, 1995; Wallenstein, 1999), no trabalho de campo foram apenas registadas a espessura e dimensão dos maiores clastos de pedra pomes e líticos (MP e ML), e realizada uma descrição genérica dos depósitos.

A medição dos MP e ML foi efectuada nos depósitos do Fogo A e Fogo 1563 e os valores médios obtidos foram comparados com os mapas de isopletas desses depósitos (Walker & Croasdale, 1971). De uma forma geral, confirmaram-se os dados obtidos, encontrando-se o valor médio dos clastos de MP e ML dentro do intervalo estabelecido pelas isopletas mais próximas.

As informações das espessuras obtidas no trabalho de campo foram cruzadas com os dados da dispersão – mapas de isopacas – de cada depósito (Fogo A; Fogo B; Furnas C; Fogo 1563), registados por Walker & Croasdale (1971), Booth *et al.* (1978) e Pacheco (1995) (Figura 3.10; Figura 3.11; Figura 3.12; Figura 3.13).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

A análise destes mapas permite perceber que as espessuras obtidas no presente trabalho são, de um modo geral, concordantes com os dados daqueles autores. Em cada ponto, os valores das espessuras encontram-se dentro do intervalo estabelecido pelas isopacas que lhes são mais próximas. Em alguns pontos a espessura destes depósitos é inferior ao esperado, consequência, da erosão a que os depósitos foram sujeitos e da acção antrópica localizada.

Os depósitos da Formação do Fogo A foram observados em toda a área de estudo, com espessuras, de um modo geral, sempre superiores a 40 cm. Por outro lado, o depósito Fogo B foi identificado em menos afloramentos do que seria de esperar, dado que as isopacas, traçadas por Booth *et al.* (1978) para este depósito, mostram uma dispersão para leste, registando espessuras de 50 cm a mais de 15 km de distância do centro emissor. O facto de não ter sido identificado pode dever-se ao estado de alteração nos afloramentos que não permitiu o seu reconhecimento.

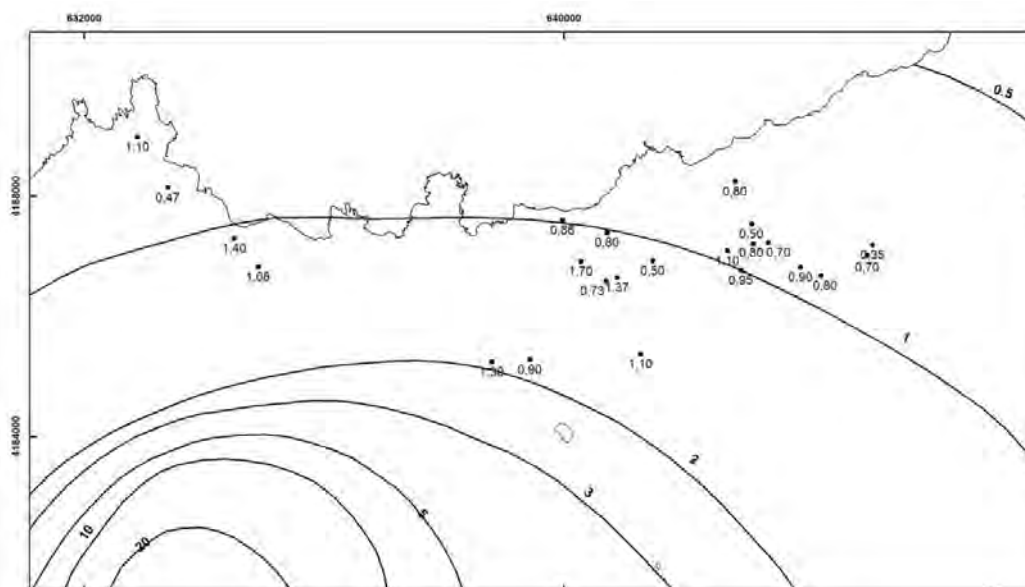


Figura 3.10 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo A (adaptado de Walker & Croasdale, 1971). Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho.

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

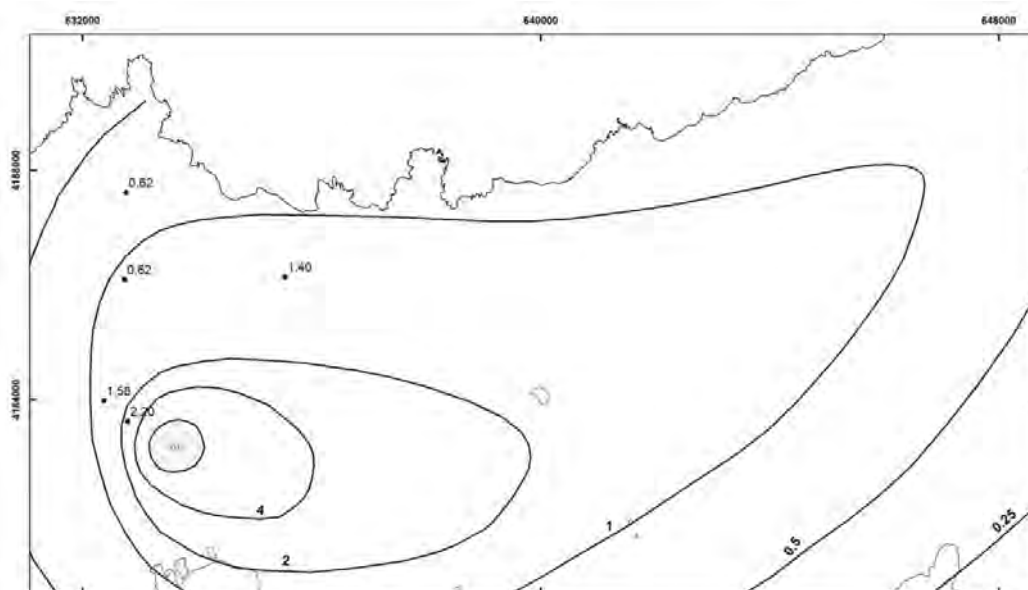


Figura 3.11 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo B (adaptado de Booth *et al.*, 1978). CE – Centro emissor. Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho.

O depósito Furnas C foi documentado em afloramentos no sector leste da área de estudo, alguns dos quais, relativamente alterados, não sendo, nesses locais, completamente evidente o limite superior do depósito.

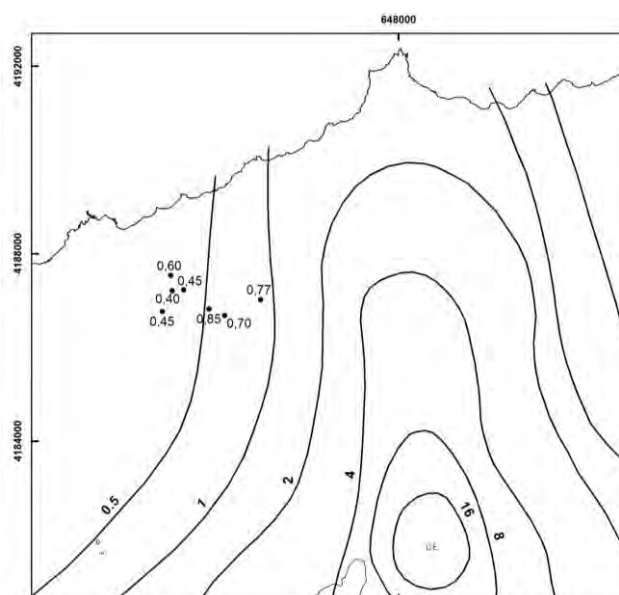


Figura 3.12 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Furnas C (adaptado de Pacheco, 1995). CE – Centro emissor. Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho.

O depósito Fogo 1563 foi documentado em vários afloramentos, reconhecendo-se a sua estrutura interna em grande parte deles. Por outro lado, o topo do depósito nunca foi observado por, na generalidade dos locais, estar alterado e corresponder ao solo actual.

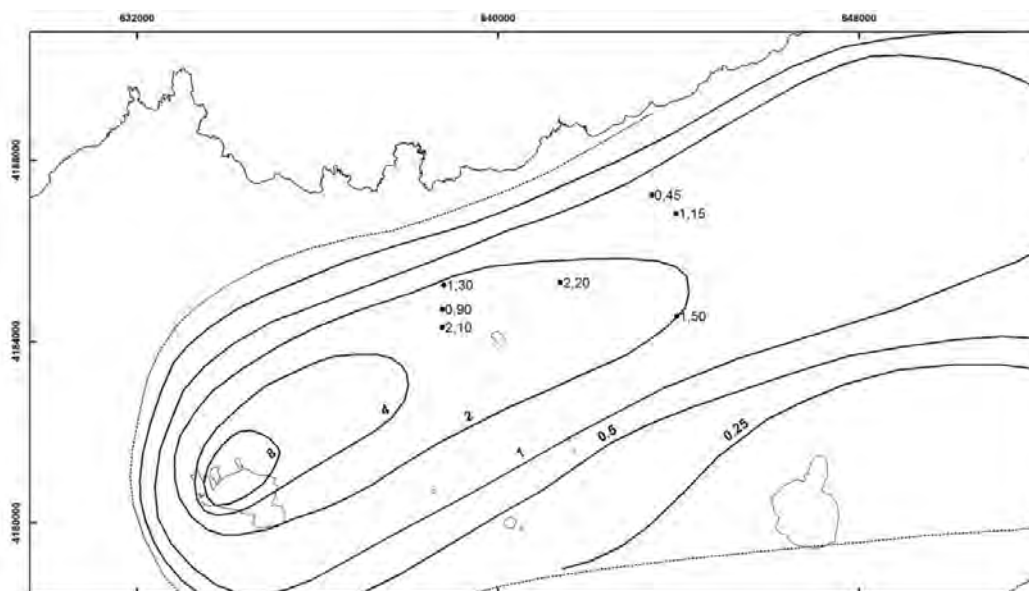


Figura 3.13 - Mapa de isopacas (em metros) do depósito Fogo 1563 (adaptado de Walker & Croasdale, 1971). Os pontos indicam as espessuras deste depósito em afloramentos documentados no presente trabalho.

### 3.2.3.2 Depósitos não correlacionados

Na área de estudo foram documentados depósitos, cujo grau de alteração não permitiu a sua identificação e correlação com depósitos já descritos por outros autores. Pôde contudo verificar-se, pela a sua posição estratigráfica, que são posteriores à Formação do Fogo A e, por tal motivo, foram também integrados nesta Unidade Recente.

Para os últimos 5 000 anos, encontra-se registada a ocorrência de cinco erupções vulcânicas associadas ao Vulcão do Fogo e dez ao Vulcão das Furnas. Deste modo, é possível que se tenha observado mais algum destes depósitos, mas que dada a sua reduzida espessura e/ou grau de alteração, estes não foram reconhecidos.

Uma análise aos mapas de isopacas disponíveis para os depósitos referidos, no contexto espacial da área de estudo, mostra que os depósitos Fogo C, Fogo D, Furnas A e B, e Furnas I foram identificados e reconhecidos na mesma por outros autores (Figura 3.14).

### 3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

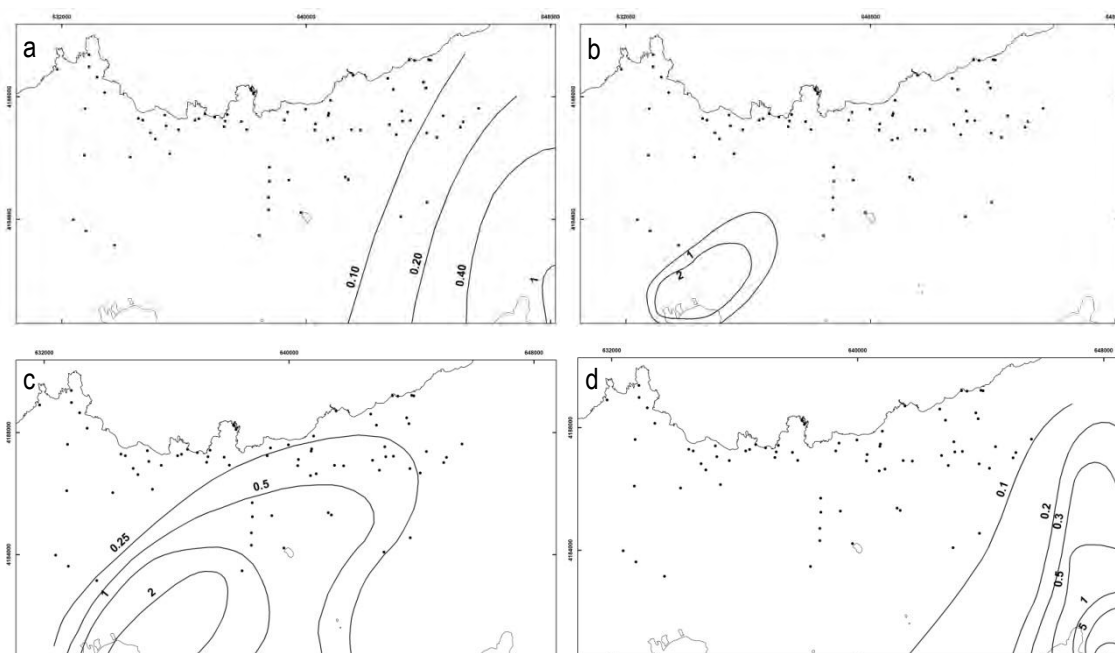


Figura 3.14 - Mapa de isopacas (em metros) do (a) conjunto dos depósitos Fornos A e B (adaptado de Pacheco, 1995); (b) depósito Forno C (adaptado de Booth *et al.*, 1978); (c) depósito Forno D (adaptado de Booth *et al.*, 1978); (d) depósito Fornos I (adaptado de Booth *et al.*, 1978). Os pontos correspondem aos locais dos afloramentos documentados no presente trabalho.

Numa análise geral aos depósitos do Vulcão do Fogo e do Vulcão das Furnas dos últimos 5 000 anos, é possível observar que, de um modo geral, os depósitos eruptivos do Vulcão do Fogo apresentam uma ligeira tendência de dispersão para leste, encontrando-se bastante dispersos na área central da ilha, enquanto os depósitos eruptivos do Vulcão das Furnas têm uma dispersão tendencialmente para norte.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os vulcões do Fogo e das Furnas correspondem a dois dos três vulcões centrais activos da ilha de S. Miguel, formando, em conjunto com o Sistema Vulcânico Fissural do Congro, a região central da ilha, com registo de intensa actividade vulcânica, que se estende aos tempos históricos. Estes vulcões formaram-se com uma grande diversidade de estilos eruptivos, com extrusão de produtos piroclásticos de queda e de fluxo, e de lavas, de natureza basáltica a traquítica.

O presente trabalho tem como objectivo principal dar um contributo para o conhecimento das sequências eruptivas dos vulcões do Fogo e das Furnas, na costa norte da ilha de São Miguel, com base na execução e interpretação de novos cortes estratigráficos, motivo pelo qual se estudou toda a área que se estende entre as freguesias de Ribeirinha e Lomba da Maia.

A vulcanoestratigrafia da costa norte da região central da ilha de São Miguel tem sido essencialmente estudada no contexto do Vulcão do Fogo, tendo sido definida e detalhada por diversos autores (Walker & Croasdale, 1971; Booth *et al.*, 1978; Moore, 1991a; Wallenstein, 1999; entre outros), enquanto a estratigrafia do Vulcão das Furnas tem sido estudada e identificada, essencialmente, no seu flanco sul e no interior do complexo de caldeiras, no âmbito do Projecto Furnas – Vulcão Laboratório Europeu (1993-1995).

Deste modo, o presente trabalho apresenta-se, como já referido, como um contributo para o conhecimento da estratigrafia dos vulcões do Fogo e das Furnas, na costa norte da zona central ilha de São Miguel, integrando os dados já publicados por outros autores com os estudados no decorrer deste trabalho e procedendo à documentação e estabelecimento de correlações estratigráficas neste sector da ilha.

A pequena espessura apresentada por uma parte significativa dos depósitos observados, a sua granulometria e, principalmente, o seu avançado estado de alteração dificultaram a identificação dos mesmos e o estabelecimento de relações estratigráficas, bem como a obtenção de parâmetros que permitissem estimar a localização dos seus centros emissores.

O trabalho de campo permitiu definir uma escala estratigráfica geral para esta zona, baseada na identificação de unidades geológicas. Realizou-se uma abordagem assente em três grandes unidades

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

---

estratigráficas: (1) Unidade de Base, (2) Unidade Intermédia e (3) Unidade Recente, definidas com base em critérios espaço-temporais e em que se integraram os dados obtidos dos autores atrás referidos, para os vulcões do Fogo e Furnas.

A Unidade de Base contempla, de uma maneira geral, as unidades mais antigas que afloram nas zonas costeiras deste sector da ilha. No geral, correspondem a escoadas lávicas de natureza traquítica e basáltica, depósitos pomíticos indiferenciados, escoadas de blocos e cinzas. No caso presente, merecem especial destaque os ignimbritos que afloram no porto de Santa Iria (Ribeirinha) e na praia da Viola (Lomba da Maia).

Para este período e considerando a área em estudo, os produtos vulcânicos de natureza traquítica predominam, com o sector entre a Ribeirinha e o Porto Formoso a ser constituído, genericamente, por uma sequência de escoadas lávicas traquíticas e depósitos pomíticos de queda e fluxo. As escoadas lávicas basálticas encontram-se com maior representatividade para leste da freguesia de S. Brás. Relativamente aos ignimbritos documentados, considera-se que o Ignimbrito de Santa Iria poderá estar associado ao Vulcão do Fogo, enquanto o Ignimbrito da Viola, pode ter tido a sua origem no Vulcão das Furnas.

Na Unidade Intermédia documenta-se a presença de quatro formações geológicas, sendo que três delas, as Formações do Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata, correspondem a unidades estratigráficas definidas e caracterizadas por outros autores (e.g. Wallenstein, 1999) e a outra, a Formação de S. Brás, a uma formação definida no presente trabalho. A definição de duas sub-unidades na Formação da Chã das Gatas – Sequência do Calhau do Cabo e Sequência da Defeira – permitiu confirmar as posições estratigráficas relativas das Formações do Porto Formoso, Chã das Gatas e Coroa da Mata e restringir a idade da Sequência da Defeira.

A Formação de S. Brás é anterior à Formação do Porto Formoso e foi documentada em afloramentos em S. Brás e Maia. É uma formação característica por apresentar um depósito de cinzas litificadas, de pequena espessura, onde se identificam cristais subcentimétricos e pedra pomes de granulometria cinza grosseira. As informações recolhidas foram insuficientes para se localizar o centro emissor deste depósito.

A Formação do Porto Formoso, datada de 21 340 anos B.P. por Wallenstein (1999), foi identificada em grande parte da zona central da área em estudo, em particular os depósitos da sua parte superior. Contudo, e apesar de se ter melhorado o conhecimento de alguns dos seus depósitos, as informações recolhidas não se mostraram suficientes para se localizar os seus centros emissores.

Na Formação da Chã das Gatas foram consideradas duas sequências eruptivas, a Sequência do Calhau do Cabo e a Sequência da Defeira, assim definidas pela localização e distribuição espacial dos seus depósitos. O tufo hidromagmático, já descrito por outros autores (Wallenstein, 1999; Pimentel, 2004), foi incluído na sequência do Calhau do Cabo, em conjunto com os depósitos subjacentes.

Os dados recolhidos no presente trabalho permitiram traçar isopacas para o depósito do Tufo hidromagmático da Chã das Gatas, que sugerem a localização do centro emissor a norte-noroeste da Ponta do Cintrão, confirmando o indicado por Wallenstein (1999).

A Sequência da Defeira inclui os depósitos sobrejacentes ao depósito do tufo hidromagmático, e dada a sua posição estratigráfica, tem uma idade entre 21 340 e 18 600 anos. Nesta sequência eruptiva, encontra-se um depósito muito distintivo por ser constituído por pedra pomes com encraves basálticos. Contudo, uma vez que apresenta uma espessura muito regular, em todos os afloramentos onde foi documentado, não foi possível estimar a localização do seu centro emissor.

Relativamente à Formação da Coroa da Mata, datada de 18 600 anos B.P. (Moore & Rubin, 1991), foi possível observar toda a espessura do depósito em alguns afloramentos, o que não tinha sido conseguido em estudos anteriores. As isopacas resultantes dos dados obtidos confirmam o cone da Coroa da Mata como seu centro emissor, tal como já tinha sido apontado por Moore (1991a) e Wallenstein (1999).

A Unidade Recente inclui os depósitos com idade inferior a 5 000 anos, sendo, deste modo, constituída por depósitos já estudados em detalhe por outros autores. Foram identificados, na área de estudo, os depósitos Fogo A, Fogo B, Furnas C e Fogo 1563. Nesta unidade foram, ainda, caracterizados outros depósitos que, dados a sua reduzida espessura e/ou o seu grau de alteração, não foi possível reconhecer e fazer corresponder a outros depósitos conhecidos desta unidade estratigráfica.

Os dados resultantes do presente trabalho permitiram identificar alguns depósitos, que dada a sua magnitude e localização no contexto vulcanoestratigráfico da ilha, deverão ser alvo de estudos mais aprofundados. De entre os vários depósitos observados, os depósitos da Formação do Porto Formoso e os ignimbritos expostos nas arribas costeiras norte da ilha de São Miguel, nomeadamente o Ignimbrito da Viola, justificam um estudo e análise mais detalhada em trabalhos futuros, embora se antevejam dificuldades acrescidas dada a escassez de afloramentos.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BOOTH, B., CROASDALE, R. & WALKER, G.P.L. (1978). A Quantitative Study of Five Thousand Years of Volcanism on São Miguel, Azores. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 288: 271-318.
- CARMO, R., MADEIRA, J., HIPÓLITO, A. & FERREIRA, T. (2011). Paleoseismological evidence for historical surface rupture events in S. Miguel Island (Azores). In: Grützner, C., Pérez-Lopez, R., Fernández-Steeger, T., Papanikolaou, I., Reicherter, K., Silva, P.G. & Vött, A. (eds.). *Proceedings of the 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering*, Corinth, Greece, 19-24 September 2011. pp. 22-25.
- CARMO, R.L. (2004). *Geologia Estrutural da Região Povoação - Nordeste (Ilha de S. Miguel, Açores)*. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. 121 pp.
- CAS, R.A.F. & WRIGHT, J.V. (1987). *Volcanic successions. Modern and ancient*. Chapman & Hall, Londres, 528 pp.
- COLE, P.D., GUEST, J.E., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., PACHECO, J.M., GASPAS, J.L., FERREIRA, T. & DUNCAN, A.M. (1999). Styles of volcanism and volcanic hazards on Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 92: 39-53.
- COLE, P.D., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., GASPAS, J.L., DUNCAN, A.M. & GUEST, J.E. (1995). An historic subplinian/phreatomagmatic eruption: the 1630 AD eruption of Furnas volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 69: 117-135.
- DUNCAN, A.M., QUEIROZ, G., GUEST, J.E., COLE, P.D., WALLENSTEIN, N. & PACHECO, J.M. (1999). The Povoação Ignimbrite, Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 92: 55-65.
- FERREIRA, T.J.L. (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.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

- GANDINO, A., GUIDI, M., MERLO, C., METE, L., ROSSI, R. & ZAN, L. (1985). Preliminary model of the Ribeira Grande geothermal field (Azores Islands). *Geothermics*. 14: 91-105.
- GASPAR, J.L., FERREIRA, T., QUEIROZ, G., GUEST, J., WALLENSTEIN, N., PACHECO, J., DUNCAN, A. & COLE, P. (1998). Main tectonic structures of Furnas volcano (São Miguel, Azores). In: Casale, R., Fytikas, M., Sigvaldasson, G. & Vougioukalakis, G.E. (eds.). *The European Laboratory Volcanoes: Proceedings of the 2nd Workshop*, Santorini, Greece, 2-4 May 1996. pp. 537-540.
- GASPAR, J.L., FERREIRA, T., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., PACHECO, J., GUEST, J., DUNCAN, A. & COLE, P. (1995). Evolução morfoestrutural do vulcão das Furnas (ilha de S. Miguel, Açores). *Memória n.º 4 do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*. pp. 999-1003.
- GOMES, A.I.M.M. (2013). *História Eruptiva do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos e Avaliação da Susceptibilidade a Escostas Lávicas (Ilha de São Miguel, Açores)*. Tese de Doutoramento em Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores. 352 pp.
- 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: 1-29.
- HIPÓLITO, A., MADEIRA, J., CARMO, R. & GASPAR, J.L. (2011). Neotectonics of Graciosa Island (Azores) - uncertainty in seismic hazard assessment in a volcanic area with variable slip-rates. In: Grützner, C., Pérez-Lopez, R., Fernández-Steeger, T., Papanikolaou, I., Reicherter, K., Silva, P.G. & Vött, A. (eds.). *Proceedings of the 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering*, Corinth, Greece, 19-24 September 2011. pp. 84-87.
- KRAUSE, D. (1965). East and West Azores Fracture-Zones in the North Atlantic. In: Whittard, W. F. & Bradshaw, R. (eds.). *Submarine geology and geophysics. Proceedings of the Seventeenth Symposium of the Colston Research Society*, University of Bristol, 5-9 April 1965, London Butterworths Publ.. pp. 163-172.
- LAUGHTON, A. & WHITMARSH, R. (1974). The Azores-Gibraltar plate boundary. In: Kristjansson, L. (ed.). *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland. pp. 63-81.

- LAUGHTON, A., WHITMARSH, R., RUSBY, J., SOMERS, M., REVIE, J., MCCARTNEY, B. & NAFE, J. (1972). A Continuous East-West Fault on the Azores-Gibraltar Ridge. *Nature*. 237: 217-220.
- MACHADO, F. (1959). Submarine pits of the Azores plateau. *Bulletin Volcanologique*. 21: 109-116.
- MADEIRA, J. & RIBEIRO, A. (1990). Geodynamic models for the Azores triple junction: a contribution from tectonics. *Tectonophysics*. 184: 405-415.
- MADEIRA, J.E.O. (1998). *Estudos de neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e S. Jorge: uma contribuição para o conhecimento geodinâmico da junção tripla dos Açores*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Geodinâmica Interna. Universidade de Lisboa. 481 pp.
- MOORE, R.B. & RUBIN, M. (1991). Radiocarbon dates for lava flows and pyroclastic deposits on São Miguel, Azores. *Radiocarbon*. 33: 151-164.
- MOORE, R.B. (1990). Volcanic geology and eruption frequency, São Miguel, Azores. *Bulletin of Volcanology*. 52: 602-614.
- MOORE, R.B. (1991a). Geology of Three Late Quaternary Stratovolcanoes on São Miguel, Azores. *US Geological Survey Bulletin*. 1900, 46 pp.
- MOORE, R.B. (1991b). Geologic Map of São Miguel, Azores. Escala 1:50 000. In: *Miscellaneous Investigation Series*. U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey (Ed.).
- MUECKE, G.K., ADE-HALL, J.M., AUMENTO, F., MACDONALD, A., REYNOLDS, P.H., HYNDMAN, R.D., QUINTINO, J., OPDYKE, N. & LOWRIE, W. (1974). Deep drilling in an active geothermal area in the Azores. *Nature*. 252: 281-285.
- NEEDHAM, H.D. & FRANCHETEAU, J. (1974). Some characteristics of the Rift Valley in the Atlantic Ocean near 36°48' North. *Earth and Planetary Science Letters*. 22: 29-43.
- PACHECO, J.M.R. (1995). *Caracterização do depósito vulcânico Furnas-C e seu contributo para a análise do hazard associado à actividade do vulcão das Furnas*. Provas de Progressão na Carreira de Investigação. Universidade dos Açores. 128 pp.
- PACHECO, J.M.R. (2001). *Processos Associados ao Desenvolvimento de Erupções Vulcânicas Hidromagmáticas Explosivas na Ilha do Faial e sua Interpretação numa Perspectiva de Avaliação do Hazard e Minimização do Risco*. Tese de Doutoramento no ramo de Geologia, especialidade de Vulcanologia. Universidade dos Açores. 330 pp.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS, ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

- PIMENTEL, D.M.A. (2004). *Contribuição para a Vulcanoestratigrafia da Sequência Eruptiva Recente do Flanco Norte do Vulcão do Fogo, S. Miguel (Açores)*. Tese de Mestrado em Vulcanologia e Riscos Geológicos. Universidade dos Açores. 126 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: 159-165.
- QUEIROZ, M.G.P.S. (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.
- SEARLE, R. (1980). Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction. *Earth and Planetary Science Letters*. 51: 415-434.
- SHOTTON, F.W. & WILLIAMS, R.E.G. (1971). Birmingham University Radiocarbon Dates V. *Radiocarbon*. 13: 141-156.
- SHOTTON, F.W. & WILLIAMS, R.E.G. (1973). Birmingham University Radiocarbon Dates VII. *Radiocarbon*. 15: 451-468.
- SHOTTON, F.W., BLUNDELL, D.J. & WILLIAMS, R.E.G. (1968). Birmingham University Radiocarbon Dates II. *Radiocarbon*. 10: 200-206.
- SHOTTON, F.W., BLUNDELL, D.J. & WILLIAMS, R.E.G. (1969). Birmingham University Radiocarbon Dates III. *Radiocarbon*. 11: 263-270.
- SHOTTON, F.W., BLUNDELL, D.J. & WILLIAMS, R.E.G. (1970). Birmingham University Radiocarbon Dates IV. *Radiocarbon*. 12: 385-399.
- WALKER, G.P.L. & CROASDALE, R. (1971). Two Plinian-type eruptions in the Azores. *Journal of the Geological society of London*. 127: 17-55.
- WALLENSTEIN, N., DUNCAN, A.M., ALMEIDA, H. & PACHECO, J. (1998). A erupção de 1563 do Pico do Sapateiro, S. Miguel (Açores). *Actas da "1.ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica"*. Almeria, Espanha, 9-12 Fevereiro 1998, 6 pp.
- WALLENSTEIN, N.M.B.A. (1999). *Estudo da História Eruptiva 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. 266 pp.

**DIANA DE JESUS FERREIRA PONTE**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS  
ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS,  
ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)**

**ANEXOS**



**DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
UNIVERSIDADE DOS AÇORES  
PONTA DELGADA  
2013**

---

**ANEXO I**

**LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS AFLORAMENTOS DOCUMENTADOS**

---

## ANEXO I – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DOS AFLORAMENTOS DOCUMENTADOS

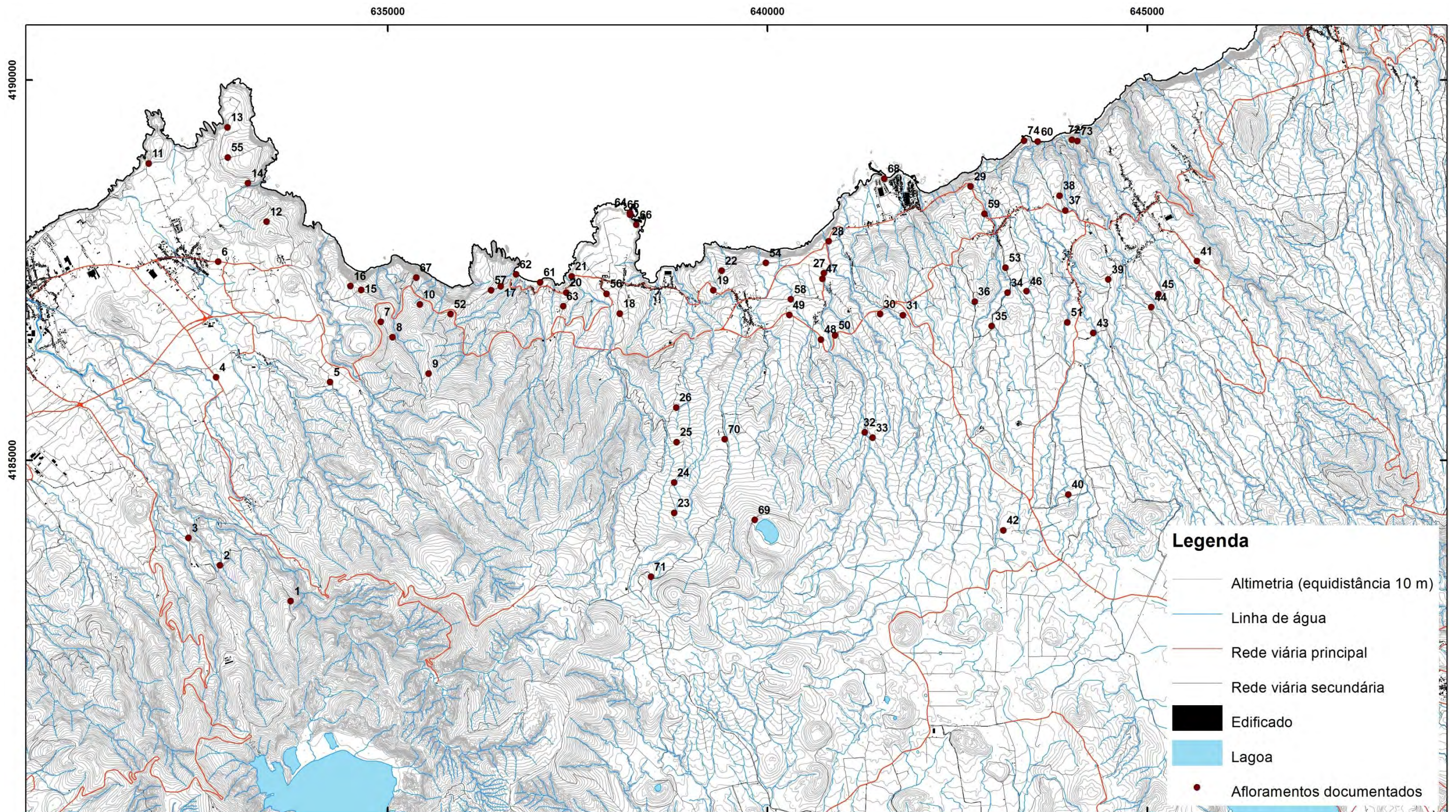
CONTRIBUIÇÃO PARA O CONHECIMENTO DAS SEQUÊNCIAS ERUPTIVAS DOS VULCÕES DO FOGO E DAS FURNAS,  
ENTRE RIBEIRINHA E LOMBA DA MAIA, SÃO MIGUEL (AÇORES)

### Anexo I.1. Tabela com as coordenadas dos afloramentos documentados

(Coordenadas da zona 26S da quadrícula UTM, Datum WGS84)

Referência	Coordenada (UTM)		Referência	Coordenada (UTM)	
	M	P		M	P
ZC-N01	633721	4183145	ZC-N38	643846	4188479
ZC-N02	632790	4183615	ZC-N39	644488	4187375
ZC-N03	632373	4183976	ZC-N40	643960	4184548
ZC-N04	632737	4186090	ZC-N41	645655	4187617
ZC-N05	634240	4186026	ZC-N42	643105	4184076
ZC-N06	632765	4187610	ZC-N43	644289	4186671
ZC-N07	634907	4186817	ZC-N44	645054	4187012
ZC-N08	635063	4186616	ZC-N45	645147	4187182
ZC-N09	635538	4186136	ZC-N46	643410	4187221
ZC-N10	635420	4187047	ZC-N47	640723	4187387
ZC-N11	631850	4188902	ZC-N48	640704	4186585
ZC-N12	633402	4188137	ZC-N49	640286	4186909
ZC-N13	632888	4189377	ZC-N50	640890	4186642
ZC-N14	633157	4188642	ZC-N51	643950	4186812
ZC-N15	634652	4187237	ZC-N52	635826	4186921
ZC-N16	634508	4187289	ZC-N53	643132	4187531
ZC-N17	636486	4187285	ZC-N54	639980	4187594
ZC-N18	638053	4186927	ZC-N55	632891	4188980
ZC-N19	639287	4187234	ZC-N56	637881	4187188
ZC-N20	637351	4187203	ZC-N57	636360	4187236
ZC-N21	637421	4187418	ZC-N58	640308	4187115
ZC-N22	639396	4187490	ZC-N59	642858	4188239
ZC-N23	638770	4184303	ZC-N60	643557	4189189
ZC-N24	638769	4184704	ZC-N61	637004	4187339
ZC-N25	638802	4185236	ZC-N62	636688	4187442
ZC-N26	638797	4185692	ZC-N63	637309	4187024
ZC-N27	640742	4187458	ZC-N64	638190	4188256
ZC-N28	640804	4187879	ZC-N65	638190	4188230
ZC-N29	642674	4188600	ZC-N66	638272	4188097
ZC-N30	641484	4186921	ZC-N67	635374	4187399
ZC-N31	641783	4186905	ZC-N68	641540	4188702
ZC-N32	641283	4185366	ZC-N69	639831	4184212
ZC-N33	641385	4185294	ZC-N70	639437	4185274
ZC-N34	643163	4187201	ZC-N71	638465	4183464
ZC-N35	642951	4186762	ZC-N72	644009	4189214
ZC-N36	642728	4187085	ZC-N73	644081	4189197
ZC-N37	643921	4188284	ZC-N74	643381	4189203

Anexo I.2. Mapa de localização dos afloramentos documentados



Base cartográfica: Carta Militar de Portugal (IGeoE, 2002), Folha 28 – Ribeira Grande, Folha 29 – Maia, Folha 33 – Vila Franca do Campo (S. Miguel – Açores). Projecção UTM – Zona 26S. Datum WGS84.