

Estudo Preliminar da Precipitação Oculta na Bacia Hidrográfica do Caldeirão Grande (São Miguel – Açores)

Dissertação de Mestrado

Cristóvão Oliveira Horta de Mendonça

Mestrado em

VULCANOLOGIA E RISCOS GEOLÓGICOS



Estudo Preliminar da Precipitação Oculta na Bacia Hidrográfica do Caldeirão Grande (São Miguel – Açores)

Dissertação de Mestrado

Cristóvão Oliveira Horta de Mendonça

Orientador

Professor Doutor José Virgílio Cruz

Dissertação de Mestrado submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Vulcanologia e Riscos Geológicos



**“Por vezes dizem-me: os Açores são um problema,
porque as pessoas estão cercadas de mar.
Compreendo essa espécie de claustrofobia quando não xenófoba.
Para mim sempre foi o contrário.
Sempre achei que o mar é uma porta de saída para o meu todo,
com um horizonte sem dimensão quase á altura do nosso chão.”
(Rego, 2014)**

Em especial a ti
Diana Horta de Mendonça

ÍNDICE

ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	VII
AGRADECIMENTOS	VIII
RESUMO	X
ABSTRACT	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	3
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.....	3
2.1.1. Localização da Área de Estudo.....	3
2.1.2. Pedologia.....	5
2.1.3. Características Fisiográficas.....	7
2.1.4. Vegetação.....	8
2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO.....	10
2.2.1. Geomorfologia e Tectónica	10
2.2.2 Vulcano – Estratigrafia.....	13
2.3. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO.....	16
2.3.1 Caracterização Geral.....	16
2.4. HIDROLOGIA.....	20
2.4.1. Consumo de Água para Agricultura.....	20
2.4.2. Escoamento Superficial.....	22
2.4.3. Escoamento Subterrâneo.....	24
3. PRECIPITAÇÃO OCULTA E NEVOEIROS.....	27
3.1. RESUMO HISTÓRICO.....	27

3.2. DEFINIÇÃO DE NEVOEIROS E PRECIPITAÇÃO OCULTA.....	31
3.2.1. Nevoeiros de Radiação.....	34
3.2.2. Nevoeiros Catabáticos.....	35
3.2.3. Nevoeiros de Advecção.....	36
3.2.4. Nevoeiros Orográficos.....	36
3.2.5. Nevoeiros de Evaporação.....	37
3.2.6. Nevoeiro Frontal.....	37
4. NUVENS.....	38
5. METODOLOGIA.....	41
5.1. PRIMEIRO ESTUDO.....	41
5.2. SEGUNDO ESTUDO.....	42
5.3. TERCEIRO ESTUDO.....	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
6.1. RESULTADOS OBTIDOS MENSALMENTE.....	54
6.2. RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO OCULTA E O VENTO.....	58
6.3. COMPARAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO HORIZONTAL E PRECIPITAÇÃO VERTICAL.....	61
6.4. ESTUDOS COMPARATIVOS.....	63
7. CONCLUSÕES	66
8. BIBLIOGRAFIA	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1

– Localização geográfica do Arquipélago dos Açores, da Ilha de São Miguel e da Serra Devassa (Fotomontagem do Google maps; Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).....4

Figura 2.2

– Modelo de elevação do terreno (de acordo com o critério proposto pela Organização Mundial de Meteorologia, apenas se apresenta o território localizado a mais de 600 m de altitude) e delimitação da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande (Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).....5

Figura 2.3

– Carta de Capacidade de Uso do Solo na ilha de São Miguel, com destaque para a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, (adaptado de Sampaio *et al.*, 1987) (Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).....6

Figura 2.4

– Lagoa do Caldeirão Grande impermeabilizada, panorâmica para costa sul da ilha de São Miguel a 825 metros de altitude.....7

Figura 2.5

– Plataforma dos Açores, limitada pela linha batimétrica dos 2.000 m (retirado de Pacheco *et al.*, 2013).....11

Figura 2.6

– Principais estruturas tectónicas da região dos Açores. Legenda: CMA -Crista Média Atlântica; ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; FG - Falha da Gloria; RT - Rift da Terceira, (retirado de Pacheco *et al.*, 2013).....13

Figura 2.7

– Modelo digital de terreno da ilha de S. Miguel com as unidades vulcanológicas: 1 – Sete Cidades; 2 – Região dos Picos; 3 – Fogo; 4 – Região da Achada das Furnas; 5 – Furnas; 6 – Povoação-Nordeste (adaptado de Moore, 1991). Coordenadas U.T.M., zona 26S. (retirado de Pacheco *et al.*, 2013).....14

Figura 2.8

– Vista do miradouro do Pico do Carvão sobre a Região dos Picos.....15

Figura 2.9

– Limite espacial do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos (retirado de Ferreira, 2000).....16

Figura 2.10

– Distribuição espacial da temperatura média anual (°C) para a ilha de São Miguel, segundo o modelo CIELO (DRA, 2015).....18

Figura 2.11

– Distribuição espacial da precipitação (mm) para a ilha de São Miguel, segundo o modelo CIELO (DRA, 2015).....19

Figura 2.12

– Oscilação dos níveis da lagoa do Caldeirão Grande, no período compreendido entre 1 junho de 2017 e 22 de maio de 2019 (Sistema de telemetria AguaGest). Os números 1 e 2 indicam a fase de vazão e fase de recuperação.....21

Figura 2.13

– Delineamento a vermelho das bacias hidrográficas endorreicas, Caldeirão Grande, Carvão e Empadadas, vista da costa sul da ilha de São Miguel (adaptado do *Google-maps*).....23

Figura 2.14

– Massas de água subterrânea da ilha de São Miguel (leitura da figura da esquerda para a direita: Sete Cidades; Ponta Delgada- Fenais da Luz; Água de Pau; Achada, Furnas – Povoação; Nordeste – Faial da Terra); (DRA, 2015).....25

Figura 3.1

– Fotografia dos coletores de Peter Rugg, 16 de fevereiro de 2016 (Inverse, 2019).....30

Figura 3.2

– O maior sistema de rede do mundo para captação de nevoeiro, instalado no monte Boutmezguida (Fotografia da ONG Dar Si Hmad).....31

Figura 3.3

– Relação entre as dimensões das gotas de água e o seu ângulo de queda para diferentes velocidades de vento (leitura da figura: diâmetro das gotas no eixo do x) (Nagel, 1956) (retirado de Prada, 2000).....32

Figura 3.4

– Presença de nevoeiro e redução da visibilidade para valores inferiores a 1000 metros (Estrada regional da Ribeira Grande, vista para a costa sul).....33

Figura 3.5

– Presença de nevoeiro, e redução da visibilidade para valores inferiores a 200 metros (Caldeirão Grande).....33

Figura 3.6

– Modelo conceptual dos tipos de nevoeiro mais comuns (modificado de Brinknzeel et al., 2005).....34

Figura 3.7

– Presença de precipitação oculta do tipo catabático na lagoa do Caldeirão Grande.....35

Figura 3.8

– Presença de nevoeiro orográfico no pico da Serra Gorda, vista das Arribanas, Arrifes.....36

Figura 4.1

– Nuvens de alta altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).....39

Figura 4.2

– Nuvens de média altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).....39

Figura 4.3

– Nuvens de baixa altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).....40

Figura 4.4	
– Nuvens de chuva segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).....	40
Figura 5.1	
– Corte transversal dos aparelhos, udómetro captador (lado esquerdo) e udómetro normal (lado direito).....	41
Figura 5.2	
– Dispositivos de madeira, captador de nevoeiros (à esquerda) e udómetro (à direita).....	43
Figura 5.3	
– Percentagem volumétrica de PV e PH em cada uma das 142 amostras recolhidas no segundo estudo desenvolvido.....	44
Figura 5.4	
– Dispositivo <i>Standard Fog Collector</i> segundo Shemenauer & Cereceda (1994).....	46
Figura 5.5	
– Dispositivo <i>Standard Fog Collector</i> em dia de nevoeiro segundo Shemenauer & Cereceda (1994).....	47
Figura 5.6	
– Dispositivo <i>Standard Fog Collector</i> instalado na cumeeira da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande.....	47
Figura 5.7	
– Pormenor do dispositivo <i>Standard Fog Collector</i> , captando nevoeiro (25 de agosto de 2019).....	48
Figura 5.8	
– Udómetro utilizado no terceiro estudo	49
Figura 5.9	
– Volumes de água do SFC armazenado no dia 25 de agosto de 2019.....	50
Figura 6.1	
– Distribuição temporal dos volumes de precipitação vertical e precipitação oculta em cada uma das amostras.....	54
Figura 6.2	
– Amostras recolhidas para cada um dos meses: (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril (continua).....	56
Figura 6.2	
– Amostras recolhidas para cada um dos meses: (e) maio; (f) junho; (g) julho; (h) agosto (continuação).....	57
Figura 6.3	
– Comportamento do volume acumulado no udómetro (pluviosidade) e no SFC (precipitação oculta) ao longo deste estudo.....	62

Figura 6.4

– Evolução da precipitação horizontal em relação à precipitação vertical.....63

Figura 6.5

– Volume da amostra associado ao erro de medição do SFC.....65

Figura 7.1

– Representação conceptual do balanço hídrico com introdução da variável precipitação oculta. (legenda da figura: P precipitação; PO precipitação oculta; Q1, Q2 escoamento superficial que entra e sai da região; G1, G2 escoamento subterrâneo que entra e sai da região; E evaporação a partir de águas superficiais; ET evaporação do solo e transpiração das plantas; rso, raq água do solo e água subterrânea que reaparecem à superfície (ressurgências); I infiltração (no solo); R recarga (percolação para os aquíferos); Ss, Sso, Saq retenção e detenção superficiais, armazenamento na camada superficial do solo, armazenamento no aquífero (água subterrânea) (adaptado de Hipólito & Vaz, 2013).....67

ÍNDICE DE TABELAS**Tabela 5.1**

– Dados do primeiro estudo desenvolvido.....42

Tabela 5.2

– Registo dos volumes acumulados, segundo a estação do ano.....44

Tabela 5.3

– Fórmulas para diferenciação de precipitação oculta e precipitação vertical.....52

Tabela 6.1

– Volume mensal acumulado de precipitação vertical e da precipitação oculta, e respetiva percentagem mensal.....55

Tabela 6.2

– Valores mensais do vento registados na estação das Empadadas/Carvão.....58

Tabela 6.3

– Valores mensais para as variáveis do vento (rajadas e velocidade), e o volume acumulado de precipitação oculta.....59

Tabela 6.4

– Avisos meteorológicos para o grupo oriental do arquipélago dos Açores (CIVISA 2019).....60

Tabela 6.5

- Dados comparativos de outros projetos desenvolvidos com o mesmo SFC.....64

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor José Virgílio Cruz, por ter aceite orientar esta dissertação, pela partilha da sua sabedoria, e pela inusitada curiosidade nesta temática.

Ao anterior conselho de administração da IROA, SA, e em particular ao Engenheiro José Mendes, por ter possibilitado a realização dos primeiros estudos de precipitação oculta conduzidos pelo autor.

Ao atual presidente do conselho de administração da IROA, SA, Doutor Ricardo Silva, e restantes membros, por ter encorajado a minha graduação, por ter apoiado a continuidade de um projeto desta natureza, e pela oportunidade de conciliar a frequência do mestrado com o trabalho que desempenho.

Ao Engenheiro Eduardo Pampulim Rosas, por acreditar no trabalho de um jovem estagiário, pela partilha da sua vasta experiência no ordenamento agrário do arquipélago dos Açores, e pela nobreza na passagem do testemunho no momento da sua aposentação. Foi uma honra, enquanto estagiário puder acompanhá-lo em trabalhos de campo.

A todos os técnicos da IROA, SA, pelos conselhos, apoio técnico, disponibilidade de dados, e acompanhamento nas saídas de campo.

À minha querida mulher, Diana Horta de Mendonça, por acreditar de forma inequívoca, nas minhas capacidades de superar um projeto tão desafiador e ambicioso como este. Sem ela, jamais estaria hoje a sonhar, e jamais, teria capacidade de superar os imensos e dolorosos obstáculos que a vida nos colocou à frente.

À minha Tia Lúcia Pacheco, por fazer-me acreditar, “que passada a tempestade, adivinha-se a bonança”. Esta figura “maternal” de extrema afetividade revelou ao longo da vida ser muito importante para mim.

À minha família, “O que guardei e guardo como relíquia foi o melhor que aconteceu entre nós, como partilha de afetos, amizade alimentada nos encontros possíveis e nas férias.” (...) “A minha harmonia afetiva esteve e está ligada à

minha família, sem qualquer obsessão. A família é a sequência mais harmónica de cada um de nós. Há milénios que é assim e outros tantos será.” (Rego, 2014)

A Deus e á fé que Nele deposito, razão pela qual ajudou iluminar o meu percurso.

A todos aqueles que omiti, e que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

O meu sincero e humilde agradecimento!

RESUMO

O arquipélago dos Açores é caracterizado por um clima com elevados índices de humidade, que por vezes pode alcançar os 100%. Os nevoeiros são massas de ar húmido, formados por pequenas gotículas de água suspensas na atmosfera que se capturados podem constituir uma origem de água passível de utilização direta ou indireta, neste caso, por exemplo, para a recarga de aquíferos. Diferencia-se, assim, a designada precipitação horizontal da pluviosidade (precipitação vertical)

O presente estudo de avaliação do potencial associado à precipitação oculta desenvolveu-se na bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, situado a uma cota superior a 600 metros, o que configura um local com características favoráveis à ocorrência de nevoeiros e à sua consequente captura. A construção de um coletor padrão de nevoeiro (SFC) permitiu comparar os resultados obtidos neste estudo com outros realizados por todo o mundo.

A recolha de dados iniciou-se a 8 de janeiro de 2019 e prolongou-se até 29 de agosto, perfazendo um total aproximado de oito meses, a que correspondem 65 medições.

Os resultados demonstram que o contributo hídrico proveniente da precipitação oculta é sempre superior ao da precipitação horizontal. No período de estudo observou-se um volume acumulado de precipitação horizontal igual a 3 519 mm, enquanto a precipitação vertical observada corresponde apenas a 1 551 mm. A média diária de precipitação oculta é igual a 64 mm/dia, enquanto o contributo da precipitação vertical é 27 mm/dia.

A distribuição mensal da precipitação oculta mostra que 62% do total ocorre de janeiro a maio. Por seu turno, a precipitação vertical concentra 51% do seu volume nos meses de fevereiro e agosto. Realça-se que o período de estudo correspondeu em parte a um ano hidrológico atípico, devido à elevada concentração de chuva no mês de agosto (23%). O volume captado de precipitação horizontal é maior quando o valor médio da velocidade do vento se

encontra abaixo dos 8,1 km/h, e a média de rajadas máximas é inferior a 25 km/h.

Os dados de precipitação oculta produzidos nesta dissertação de mestrado são coerentes com outros dados produzidos noutros estudos, que utilizam o mesmo tipo de SFC. Em casos de estudo desenvolvidos no Chile, Peru, Omã, Equador e na Região Autónoma da Madeira (Portugal) o volume diário de precipitação oculta é igual ou superior a 3 L/m². No caso particular dos dois estudos realizados na ilha da Madeira por Prada (2000), constata-se que a média diária de precipitação oculta obtida no Caldeirão Grande é intermédia entre os resultados obtidos naquela ilha.

Palavras-chave:

Precipitação oculta; hidrologia; bacia hidrográfica; Caldeirão Grande; São Miguel.

ABSTRACT

The Azores archipelago is characterized by a climate with high humidity levels, which can sometimes reach 100%. Fogs are masses of moist air, formed by small droplets of air suspended in the atmosphere that if captured can constitute a source of water that can be used directly or indirectly, in this case, for example, for the recharge of aquifers. This differentiates between the so-called fog precipitation, or fog harvesting, from rainfall.

The present study aims to evaluate the potential associated with fog precipitation and was developed in the Caldeirão Grande watershed, located at an altitude over 600 meters, which constitutes a site with characteristics favorable to the occurrence of fog and its consequent harvesting. The construction of a standard fog collector (CFS) made it possible to compare the results obtained in this study with others performed around the world.

Data collection began on 8 January 2019 and lasted until 29 August, totaling approximately eight months of observations, corresponding to 65 measurements.

Results show that the water contribution from fog precipitation is always higher than that of rainfall. During the development of the study, an accumulated fog precipitation volume of 3 519 mm was observed, while the rainfall observed was only 1 551 mm. The average fog precipitation is 64 mm/day, while the contribution of average daily rainfall is 27 mm / day.

The monthly distribution of fog precipitation shows that 62% of the total occurs from January to May. In turn, rainfall concentrates 51% of its volume in February and August. It is highlighted that the study was made during a period that corresponded in part to an atypical hydrological year, due to the high concentration of rain in August (23%). The amount of fog harvesting is higher when the average wind speed is below 8.1 km/h, and the average maximum wind gust is less than 25 km / h.

Fog precipitation data produced in this master's dissertation are consistent with other data produced in other studies made worldwide using the same type of

SFC. In case studies developed in Chile, Peru, Oman, Ecuador, and the Autonomous Region of Madeira (Portugal) the daily volume of fog precipitation is higher than 3 L/m². In the particular case of the two studies carried out on Madeira by Prada (2000), it can be seen that the daily average of fog precipitation obtained in Caldeirão Grande is intermediate between the results obtained on that island.

Key-words:

Fog precipitation; hidrology; drainage basin; Caldeirão Grande; São Miguel.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROPOSTA E OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Face ao processo de alteração climática global em curso, com impactes bem marcados sobre o ciclo da água, desenvolveu-se esta dissertação, com objetivo primordial, de colmatar uma lacuna de conhecimento existente nos Açores. O tema seleccionado - caracterização da precipitação oculta na bacia hidrográfica do Caldeirão Grande pretende avaliar o potencial da precipitação oculta na ilha de São Miguel, contribuindo desta forma para aferição do balanço hidrológico.

O historiador Thomas Fuller (1608 – 1661) ao afirmar “*enquanto o poço não secar, não saberemos dar o valor à água*”, sustenta a ideia que tudo deveremos fazer para precaver o futuro incerto do impacto das alterações climáticas sobre o meio ambiente. Para que isso aconteça é necessário maximizar os recursos hídricos disponíveis.

O estudo da precipitação oculta efetuado ao longo da presente dissertação baseou-se em quatro fases principais:

1. Seleção do local mais apropriado, e vantajoso para a instalação de dois dispositivos (captador e udómetro) e construção do sistema padrão de captação de precipitação oculta;
2. Realização de medições volumétricas do udómetro e do sistema de rede de captação de precipitação oculta;
3. Tratamento e análise dos dados recolhidos da pluviosidade, e precipitação oculta;
4. Integração dos resultados e posterior discussão. No decurso deste último momento, procedeu-se à avaliação do potencial hídrico da precipitação oculta na bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, e à análise da eventual introdução de volumes de água de precipitação oculta nos sistemas de abastecimento de água agrícola.

O aproveitamento de dados desta dissertação, terá utilidade para organismos públicos regionais, com competências em matéria de recursos hídricos, ambiente e ordenamento do território.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

2.1.1. Localização da Área de Estudo

O arquipélago dos Açores é um conjunto de nove ilhas de origem vulcânica e localiza-se entre as latitudes 37° e 40°N, e as longitudes 25° e 31°W (Fig. 2.1). O conjunto de ilhas que emergem do fundo do Atlântico Norte organiza-se em 3 grupos geográficos: o Grupo Ocidental, que compreende as ilhas do Corvo e Flores, o Grupo Central, que engloba as ilhas Graciosa, Faial, Pico, São Jorge e Terceira, e o Grupo Oriental, com as ilhas de São Miguel e Santa Maria.

A ilha de São Miguel, com 742 km² de área e um comprimento de 62 km por 16 km de largura, é a maior ilha do arquipélago dos Açores, que compreende cerca de 56,4% de toda a população açoriana. O território da maior ilha do arquipélago é repartido administrativamente por seis concelhos (DGT, 2018; SREA, 2017): Lagoa, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande e Vila Franca do Campo.

A Serra Devassa está incluída no parque natural de ilha de São Miguel, na categoria da paisagem protegida das Sete Cidades (Decreto Legislativo Regional n.º 19/2008/A, de 8 de julho, (DLR, 2008), encontrando-se localizada no interior do concelho de Ponta Delgada (Fig. 2.1). A Serra Devassa, contudo, incorpora mais de uma dezena de lagoas e lagoeiros. Estes reservatórios naturais estão preferencialmente localizados nas crateras de cones vulcânicos.

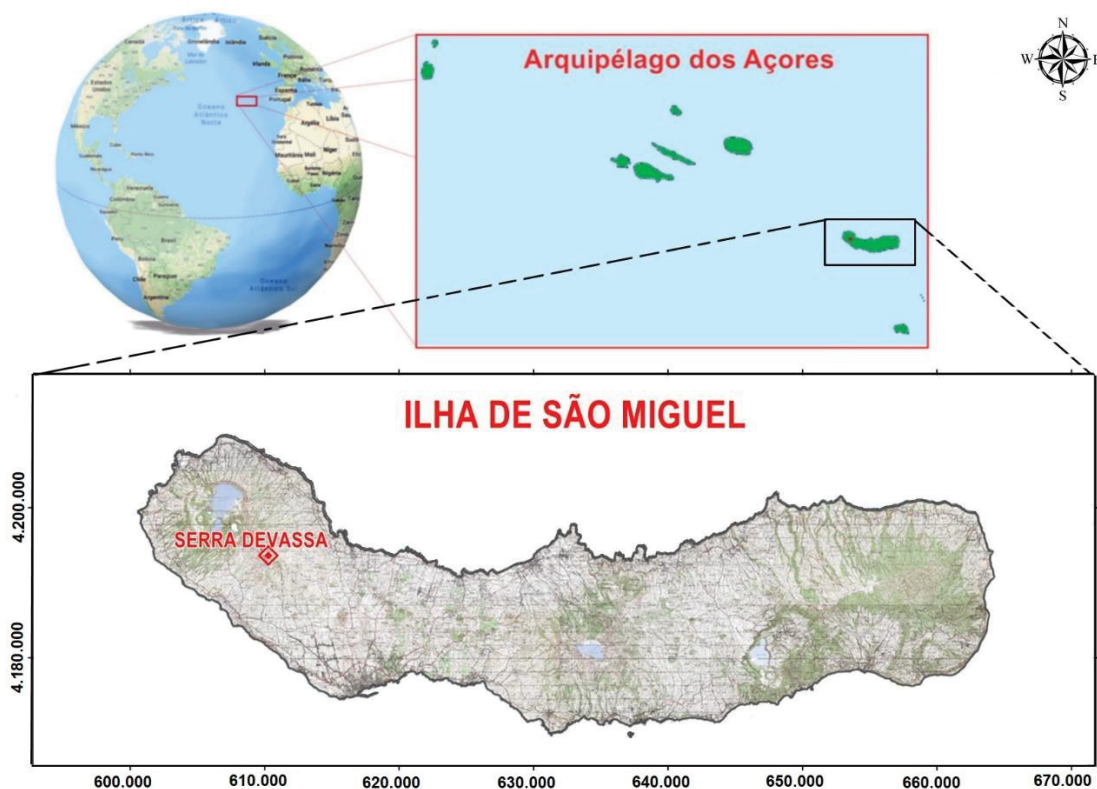


Figura 2.1 – Localização geográfica do Arquipélago dos Açores, da Ilha de São Miguel e da Serra Devassa (Fotomontagem do Google maps; Carta Administrativa Oficial de Portugal 2018; Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).

O presente estudo incide sobre a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, sendo, esta bacia localizada bem no interior da Serra Devassa, delimitada por cumeeiras que demarcam uma área igual a 15,6 hectares. A localização geográfica da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande confronta a Noroeste com a lagoa do Caldeirão Pequeno, lagoa Rasa e lagoa das Éguas, a Norte confronta a lagoa das Empadas, e por fim, para Nordeste, confronta com a lagoa do Carvão.

Como é perceptível a partir da leitura da Figura 2.2, a cota de cumeeira da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande varia entre o mínimo de 750 m e o máximo de 820 m.

No entanto, e face aos objetivos do presente estudo, a análise do enquadramento espacial não se pode cingir apenas à bacia do Caldeirão Grande e deve abranger toda a área envolvente tendo em conta a importância que a mesma desempenha na formação de correntes de ar húmido. Atendendo às

correntes de ar húmido que se podem formar é possível distinguir e caracterizar duas áreas; a primeira área, e que ressalta a um qualquer observador, é formada por centros eruptivos com forma cónica que correspondem a cones de escórias/*spatter* (Queiroz, 1997), e que chegam a atingir uma cota máxima de 870 m; por seu turno, a segunda zona é designada por bacia hidrográfica do Carvão, e incorpora um vale que atinge uma altitude compreendida entre 820 e 600 m de altitude. O percurso do vale é alongado e tem orientação NE-SW.

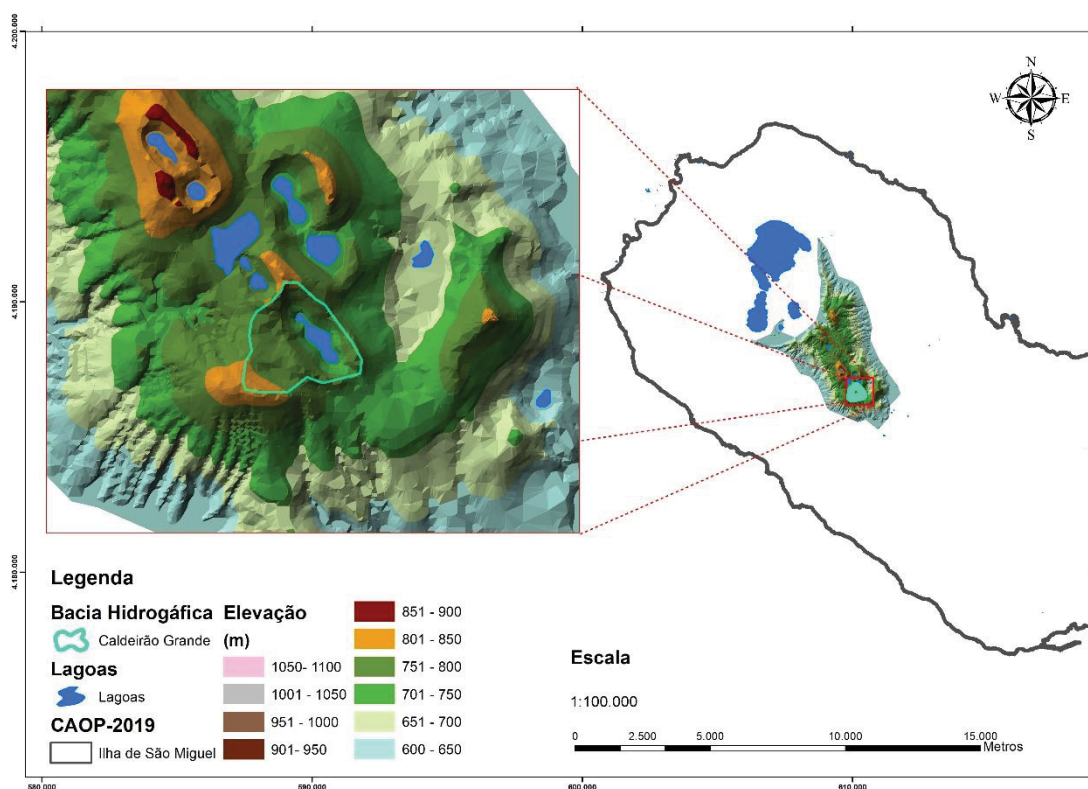


Figura 2.2 – Modelo de elevação do terreno (de acordo com o critério proposto pela Organização Mundial de Meteorologia, apenas se apresenta o território localizado a mais de 600 m de altitude) e delimitação da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande (Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).

2.1.2. Pedologia

A morfologia dos solos de origem vulcânica é complexa, refletido a influência dos diversos depósitos vulcânicos, com distintas características quer químicas e mineralógicas, quer físicas. Os solos nos Açores são assim originários de materiais vulcânicos modernos, dos quais se destacam as cinzas e a pedrapomes pela vasta capacidade de dispersão, e a escória basáltica pelos materiais vulcânicos mais básicos. Os solos predominantes são os Andossolos, que se

caracterizam pela elevada capacidade de retenção de água, por ser constituído por materiais bastante vesiculados e pouco densos. Embora neste tipo de solos haja boa drenagem, estes apresentam um elevado teor de humidade, devido ao seu desenvolvimento sob condições de humidade permanente, em cotas geralmente superiores aos 350 metros. (HIDROPROJECTO, 2003)

A capacidade do uso do solo é uma ferramenta utilizada para o ordenamento do território. Dada as particularidades de cada uma das ilhas do arquipélago do Açores, Sampaio *et al.* (1987) adaptou à realidade açoriana o sistema internacional de classificação de uso do solo (Fig. 2.3). De acordo com esta classificação adaptada, a capacidade de uso do solo da zona na qual a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande se insere pertence à classe VI e VII (Fig. 2.3). Estas classes correspondem a solos não aráveis, pertencentes às subclasses de risco de erosão e de solos propícios ao encharcamento.

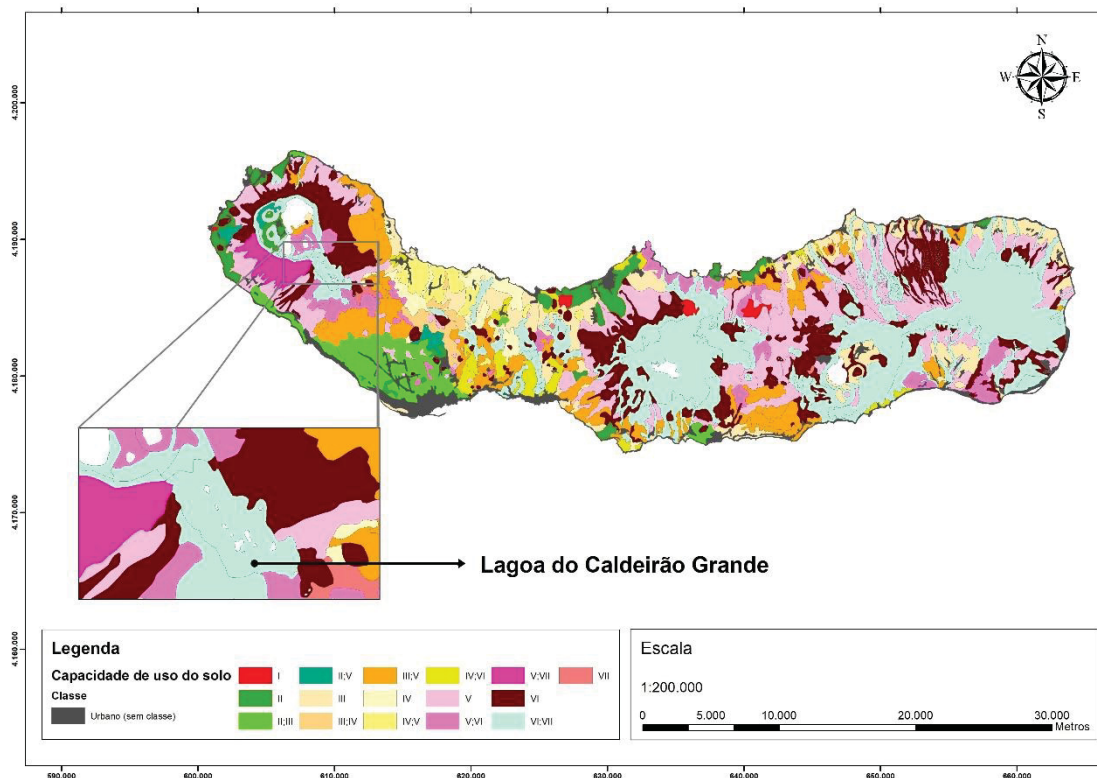


Figura 2.3 – Carta de Capacidade de Uso do Solo na ilha de São Miguel, com destaque para a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, (adaptado de Sampaio *et al.*, 1987) (Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM zona 26 N).

2.1.3. Características Fisiográficas

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica podem ser agrupadas de acordo com as características da própria bacia, como, por exemplo entre outras, o tamanho, a forma, o relevo, o declive, a orientação e a sua rede fluvial de drenagem. A geologia já definida anteriormente, o tipo de uso do solo, no qual se incluem o tipo de cobertura vegetal, e a sua ocupação humana são características físicas de uma bacia hidrográfica, (Hipólito & Vaz, 2013). A área de estudo, nomeadamente a Bacia Hidrográfica do Caldeirão Grande, abrange cerca de 15,6 hectares, e caracteriza-se por ser uma bacia endorreica devido ao limite da bacia coincidir com a linha de cumeada, e por ter a drenagem das suas águas para o interior da lagoa e não para o mar, não ocorrendo assim alimentação de rios ou ribeiras. A impermeabilização da lagoa do Caldeirão Grande permitiu aumentar a capacidade máxima de armazenamento de 10 000 m³ para os 30 000 m³ de água (Fig. 2.4) HIDROPROJECTO, (2003).



Figura 2.4 – Lagoa do Caldeirão Grande impermeabilizada, panorâmica para costa sul da ilha de São Miguel a 825 metros de altitude.

Esta bacia apresenta uma forma irregular, com um desnível máximo de 95 metros, compreendido entre a cota máxima da cumeeira 825 m e a cota mínima de 730 m. A lagoa encontra-se impermeabilizada, sendo esta, o destino final de toda a água drenada. Existem indícios que a bacia em causa tem orientação de W para S, porque o maior contributo de água drenada advém maioritariamente de fluxos de água segundo esta.

Este facto foi razão pelo qual ocorreu o aproveitamento hídrico por parte do homem, levando à construção de diversas infraestruturas como, por exemplo, caleiras de betão de cimento, tanques de decantação, valas a meia encosta, açudes e passagens hidráulicas, que proporcionaram uma melhor drenagem e obtenção de maiores volumes de água. Não se considera a existência de curso fluvial natural de drenagem relevante, visto que, não existe algum que se destaque à vista, ou então esteja perfeitamente definido com a sua passagem. Considera-se a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, pouco compactada na sua forma, devido ao seu elevado distanciamento à referência do índice de Gravelius ($K_c=1$; forma circular). A seguinte equação demonstra

$$K_c = \frac{(0,282 * P)}{\sqrt{(A)}}$$

Sendo P o perímetro de bacia (Km) e A área da bacia (Km²) obtêm-se:

$$K_c = \frac{(0,282*1,5)}{\sqrt{(185000)}} = 9,834 * 10^{-4}$$

2.1.4. Vegetação

No passado recente a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande e do Carvão foram alvo de extração de recursos minerais não metálicos. O uso dos materiais vulcânicos, nomeadamente, as escórias para a construção civil, alterou profundamente a paisagem aí presente. A esta problemática, acrescenta-se em pequena escala a extração de “musgão” das vertentes vulcânicas (*spagnum ssp.*) para ornamentar os presépios na época do natal, e em larga escala a extração para utilização na cultura do ananás.

A vegetação de altitude é peculiar devido aos fatores condicionantes, e nomeadamente a processos como a exposição às intempéries, as temperaturas baixas durante todo o ano, e à quase permanente nebulosidade, retardam o desenvolvimento normal das plantas.

No entanto, a vegetação de altitude enfrenta outros problemas ambientais, como a presença de outras espécies invasoras que competem pelo mesmo solo.

O coberto vegetal presente na área de estudo é dominado pelas seguintes espécies (Schäfer, 2012):

Cryptomeria japonica, (L.f.) Don – Nativa do Japão e China, com dispersão por todas as ilhas dos Açores. O homem plantou inúmeros exemplares na bacia, após obra de impermeabilização da Lagoa do Caldeirão Grande (2007), com a finalidade de reduzir os impactos ambientais;

Daboecia azorica, Tutin & Warb. (Queiró) - Endémica dos Açores, com dispersão por S. Miguel, S. Jorge, Pico e Faial;

Gunnera tinctoria, (Molina) Mirbel – Planta extremamente invasora em pastos encharcados, ravinas, encostas das furnas e regiões entre os 500-700 m. Encontra-se distribuída apenas na ilha de São Miguel. Espécie competidora para as turfeiras, ocorrendo mais escoamento superficial e menos retenção de água.

Hedychium gardnerianum, Sheppard ex Ker Gawl (Roca-da-velha, Conteira) – É uma planta nativa dos Himalais e Nepal, uso como planta ornamental, muito comum, considerada invasora, e a sua distribuição está por todo o arquipélago dos Açores;

Hydrangea macrophylla, (Thunb.) Ser. (Hortências; Novelão), planta de uso ornamental, perfeitamente neutralizada e invasiva na maioria dos habitats acima dos 1000 metros. É uma planta nativa da Ásia, no entanto, pode ser encontrada em todas as ilhas do arquipélago dos Açores;

Persicaria capitata, (Ham-Buch. Ex D. Don) H. Gross - Nativa dos Himalaias, com distribuição em todo o arquipélago, excetuando a ilha da Graciosa e Corvo. Planta ornamental, comum e invasiva especialmente em escoadas de lava recentes, e encostas de estradas;

Plantago coronopus, L. (Diabelha, engorda-ratos). É muito comum, encontrar em zonas costeiras, falésias, e pastagens húmidas. Planta nativa da Macaronésia, Europa, Norte de Africa, com distribuição em todo o arquipélago dos Açores.

Selaginella kraussiana, (Kunze) A. Braun - Distribuição em todas as ilhas do arquipélago. Comum encontrar-se em locais de encharcamento e de sombra, exceto em regiões costeiras;

Spagnum sps, (Musgão) - Grande capacidade de absorver e reter volumes de água;

Rhododendron indicum, (L.) Sweet – Planta de uso ornamental, nativa do Japão, com dispersão estabilizada;

Rubus ulmifolius, Schott (Silvado Bravo, Silva Brava) – Espécie comum em todos os tipos de habitats;

2.2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

2.2.1. Geomorfologia e Tectónica

As nove ilhas que compõe o arquipélago dos Açores correspondem a estruturas vulcânicas emergentes a partir da designada Plataforma dos Açores, uma zona de forma aproximadamente triangular definida pela linha batimétrica dos 2 000 m (Needham & Francheteau, 1974) e caracterizada por uma morfologia complexa, refletida pela presença de fossas e cristas submarinas, (Searle, 1980; Lourenço *et al.*, 1998) (Fig. 2.5). A crosta oceânica nesta região apresenta uma espessura com cerca de 14 km, considerada anormalmente elevada. Este espessamento associado a um magmatismo intenso sugere a existência de um ponto quente sob a Plataforma do Açores (Dias *et al.*, 2007).

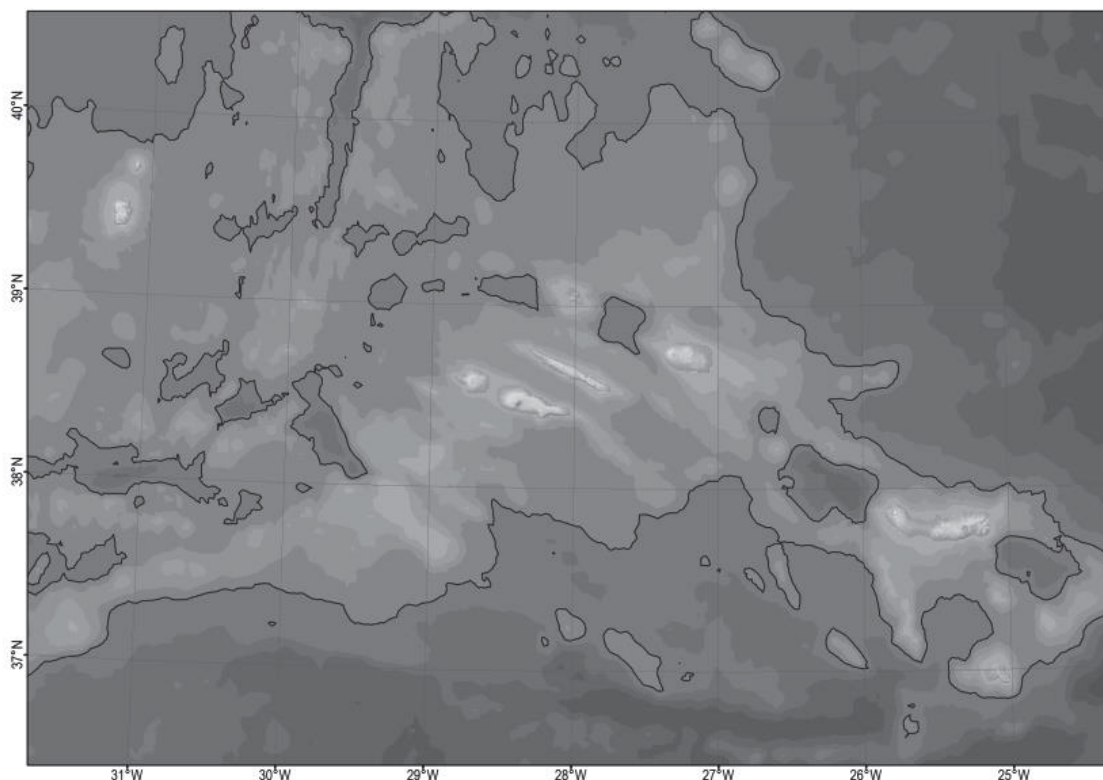


Figura 2.5 – Plataforma dos Açores, limitada pela linha batimétrica dos 2.000 m (retirado de Pacheco et al., 2013).

As anomalias topográficas na região do Atlântico Norte, assim como as anomalias gravíticas, de espessamento crustal, de velocidades de propagação de ondas sísmicas, térmicas e geoquímicas, constituem, de acordo com alguns autores, evidências que o ponto quente se traduz na existência de uma pluma mantélica sob a região dos Açores (Schilling, 1975; Madureira *et al.*, 2005; Gente *et al.*, 2003; Silveira *et al.*, 2006; Lourenço, 2007).

Na perspetiva da tectónica, o arquipélago situa-se nas proximidades da zona de junção tripla das placas litosféricas Norte Americana, Euroasiática e Africana, traduzindo-se na existência de importantes sistemas de fraturas. Neste contexto, podem distinguir-se as principais estruturas tectónicas na região dos Açores: a Crista Média Atlântica (CMA), a Falha da Glória, a Zona de Fratura Este dos Açores e Rifte da Terceira (Fig. 2.6).

A Crista Média Atlântica (CMA) é a estrutura que separa a placa Norte Americana, para W, das placas Euroasiáticas e Africana, para E, e prolonga-se pela região dos Açores atravessando-o entre o grupo Ocidental e Central. Esta

estrutura apresenta uma orientação de N14° a norte do ponto de latitude 38.° 55' N, infletindo para S deste último para uma direção N25° (Luís *et al.*, 1994). Na interseção com a Plataforma dos Açores, a CMA tem uma orientação média NE-SW, materializada por um conjunto de falhas transformantes que a fragmentam em troços muito curtos (Searle, 1980; Luís *et al.*, 1994).

A Falha da Gloria situada a este da ilha de Santa Maria está confinada no limite entre as placas Euroasiática e Africana, sendo esta uma estrutura de desligamento direito com orientação E-W (Laughton *et al.*, 1972).

A localização a sul do arquipélago dos Açores, entre a Crista Médio-Atlântica e a ilha de Santa Maria, encontra-se a Zona de Fratura Este dos Açores, é definida por um antigo troço da fronteira das placas Euroasiática e Africana e devido a sua inexistente atividade sísmica, é considerada por alguns autores como uma falha inativa (e.g. Laughton & Withmarsh, 1974; Searle, 1980; Madeira, 1998).

O Rifte da Terceira (RT) corresponde à estrutura tectónica com orientação geral WNW-ESE, definida pelo alinhamento das ilhas dos grupos central e oriental, e desenvolve-se desde a CMA até à falha da Glória, situada a leste de Santa Maria, com direção W-E. O Rifte da Terceira caracteriza-se por comportamentos distensivos e de desligamento direito. No que se refere ao nível sísmico e vulcânico, o RT caracteriza-se igualmente, por uma atividade intensa (Madeira, 1998; Lourenço *et al.*, 1998).

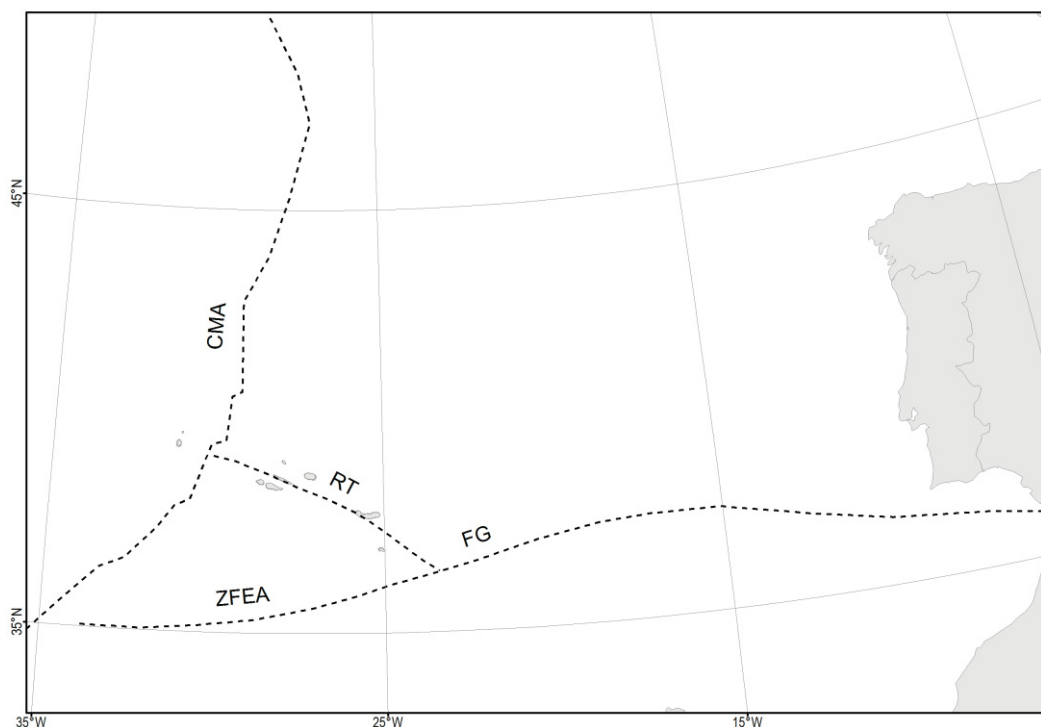


Figura 2.6 – Principais estruturas tectônicas da região dos Açores. Legenda: CMA -Crista Média Atlântica; ZFEA - Zona de Fratura Este dos Açores; FG - Falha da Gloria; RT - Rift da Terceira, (retirado de Pacheco et al., 2013).

2.2.2. Vulcano-Estratigrafia

O arquipélago dos Açores é de origem vulcânica, e todas as ilhas, inclusivamente São Miguel, apresentam diversos sistemas vulcânicos, alguns dos quais já extintos. Atualmente, de entre os vários sistemas ativos na ilha de São Miguel, contam-se três vulcões centrais, e duas regiões dominadas por vulcanismo fissural basáltico (s.l.).

No mapa geológico da ilha de São Miguel, Moore, (1991) distinguiu seis zonas vulcânicas, designadamente Sete Cidades, Picos, Fogo, Achada das Furnas, Furnas e Povoação-Nordeste. As formas e estruturas vulcânicas encontradas na ilha, e que têm mais representação, são os cones de escórias, cuja localização na maior parte dos casos é condicionada pela tectónica, ou seja, é dominada pela tendência regional do Rift da Terceira (Fig. 2.7) (Pacheco *et al.*, 2013).

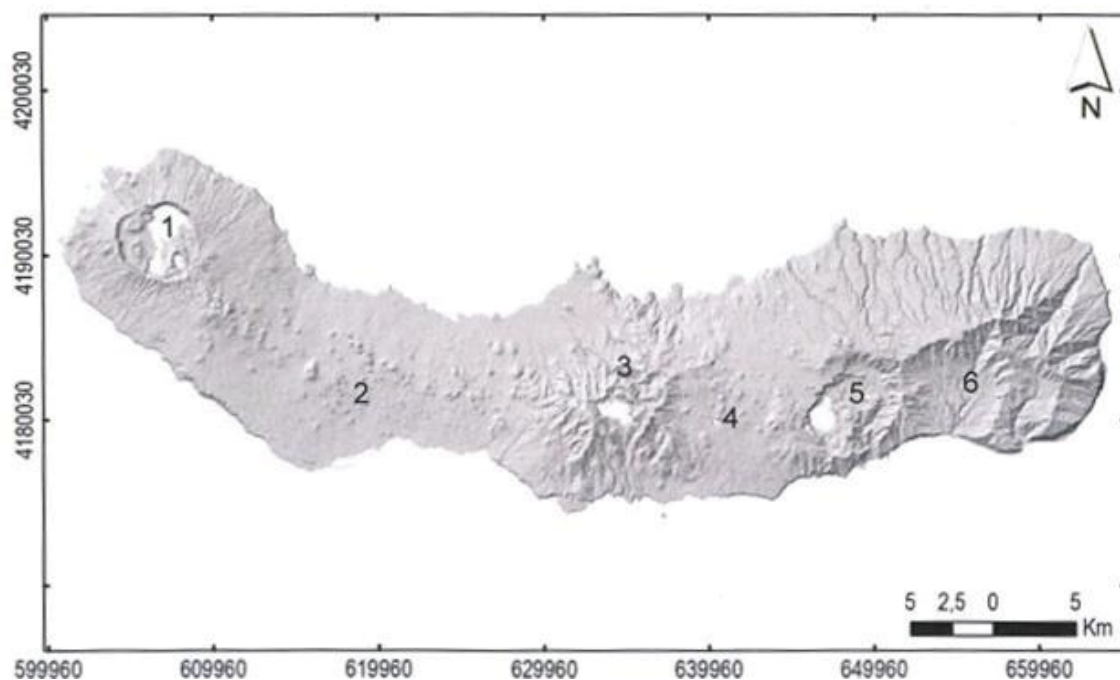


Figura 2.7 – Modelo digital de terreno da ilha de S. Miguel com as unidades vulcanológicas: 1 – Sete Cidades; 2 – Região dos Picos; 3 – Fogo; 4 – Região da Achada das Furnas; 5 – Furnas; 6 – Povoação-Nordeste (adaptado de Moore, 1991). Coordenadas U.T.M., zona 26S. (retirado de Pacheco *et al.*, 2013).

A Região dos Picos, encontra-se localizada entre os vulcões poligenéticos das Sete Cidades, para W e do Fogo, a este. Esta região tem um comprimento aproximado de 23 km e uma largura variável entre 7,5 e 12 km, perfazendo assim uma área de cerca 200 km² (Fig. 2.8). Grande parte da sua extensão corresponde a uma área pouco elevada, dominada pela presença de cerca de três centenas de estruturas vulcânicas, principalmente cones de escórias gerados no decorrer dos episódios vulcânicos basálticos recentes (Pacheco *et al.*, 2013).



Figura 2.8 – Vista do miradouro do Pico do Carvão sobre a Região dos Picos.

Esta região é afetada por um sistema de fraturas dominantes, com uma direção NW-SE, concordante com o sistema regional definido pelo Rifte da Terceira, e caracteriza-se por dois alinhamentos vulcânicos principais, ou cristas vulcânicas, que seguem a mesma direção tectónica (Friedlander, 1929, Zbyszewsky, 1959). O conjunto situado mais a S engloba o alinhamento de cones de escórias existentes ao longo do eixo Pico das Éguas – Serra Gorda – Rosto Cão, e corresponde ao prolongamento para SE da zona de fratura que atravessa o vulcão das Sete Cidades.

O Sistema Vulcânico Fissural dos Picos, que corresponde à designada Região dos Picos, é uma das unidades geológicas mais recentes da ilha de São Miguel (Fig. 2.9). O sistema fissural dos Picos, apresenta um vulcanismo de natureza basáltica, isto é, os produtos que daí resultam, são maioritariamente escoadas lávicas, ou cones de escórias. Algumas das formas vulcânicas do Sistema Fissural da Região dos Picos, estão ocultas por materiais mais recentes provenientes de vulcões poligenéticos vizinhos, como Sete Cidades e Fogo (Carmo, 2013). Nesta área por onde se estende o sistema fissural, é possível, identificar pontualmente alguns cones de pedra-pomes, *maars* e domos, embora estas sejam estruturas mais raras (Ferreira, 2000).

A mais recente erupção do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos decorreu no ano de 1652, deu origem a três domos vulcânicos, que estão localizados na zona central da ilha, a N de Lagoa, no flanco S do então Pico do Paio, mais propriamente no vértice geodésico Fogo 2.º (Ferreira,2000).

A lagoa do Caldeirão Grande está inserida nos centros monogenéticos que se encontram concentrados ao longo de um eixo longitudinal, que por sua vez origina uma faixa central de relevo mais irregular com uma distribuição de altitudes bastante variável. O Pico do Carvão, com 1 280 anos \pm 0,15 ka BP, e o Pico das Éguas (2 700 anos \pm 0.25 ka BP), são os centros eruptivos localizados nas proximidades da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, de que se conhece a idade geológica (Moore & Rubin, 1991).

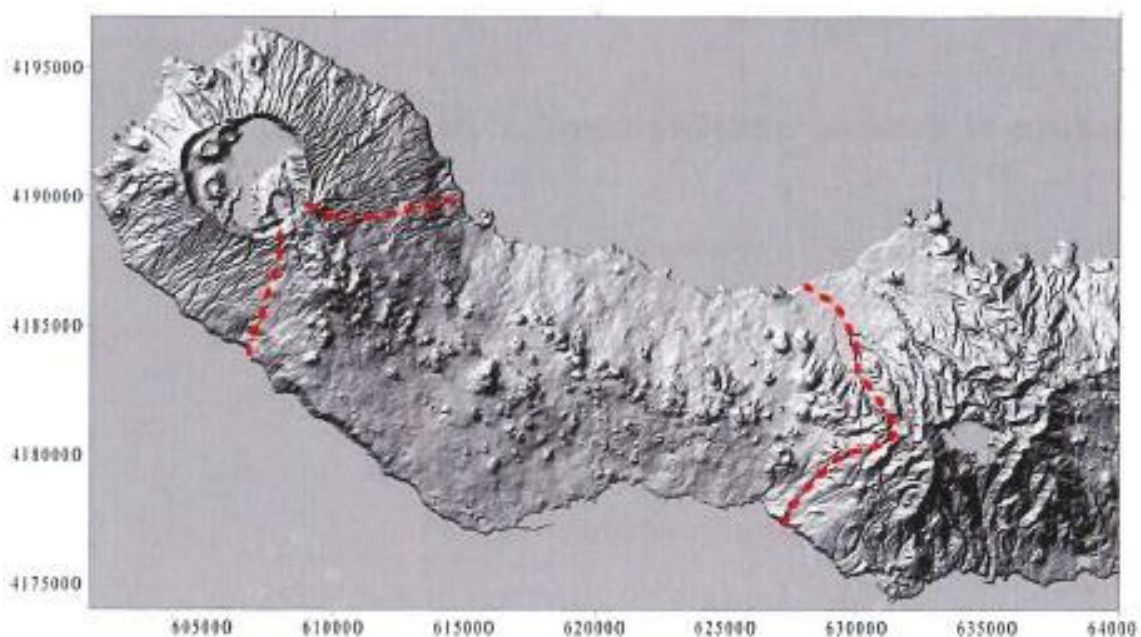


Figura 2.9 – Limite espacial do Sistema Vulcânico Fissural dos Picos (retirado de Ferreira, 2000).

2.3. ENQUADRAMENTO CLIMÁTICO

2.3.1. Caracterização Geral

O enquadramento climático, nomeadamente o conjunto de elementos (temperatura, precipitação e vento) que o caracteriza, são peças fundamentais

para a compreensão da temática em estudo. Com efeito, a dinâmica dos nevoeiros, que correspondem a massas de água suspensas na atmosfera, é condicionada de forma direta por estes elementos no que respeita ao seu transporte e formação.

As características climáticas são as que determinam a precipitação e a evaporação numa dada região, e estas por sua vez influenciam a forma como ocorre o armazenamento e o escoamento superficial e subterrâneo (Hipólito & Vaz, 2013).

O estado do tempo refere-se a elementos que podemos observar todos os dias, como sejam a temperatura, chuva e vento, e que podem mudar em intervalos de tempo muito curtos. O clima, por outro lado, define-se por abordar as mudanças do estado do tempo ao longo de um período de tempo mais alargado, normalmente durante trinta anos. A observação do clima permite definir tipos de zonas climáticas por todo o mundo.

O clima no arquipélago dos Açores está associado de uma forma geral, à circulação atmosférica no Atlântico Norte. No caso do estado do tempo as dinâmicas dependem principalmente, do desenvolvimento, da orientação e deslocação do anticiclone dos Açores, bem como da consequente interação de massas de ar a ele associadas (tropical marítimo e polar marítimo) (Fernandes, 2004).

Segundo Azevedo (2001), o relevo das ilhas apresenta-se como um dos mais importantes fatores climáticos o qual, para além de interferir com a velocidade e direção do vento, provoca a subida do ar húmido ao longo das arribas e vertentes, originando assim a formação de nuvens de relevo, nevoeiros e precipitações orográficas.

O arquipélago é por vezes atingido pela passagem de ciclones tropicais, ou tempestades tropicais oriundas destes, principalmente nos finais de verão e do outono. Para os sistemas muitas vezes já com perdas de energia, resultam muitas das piores tempestades a que o arquipélago fica submetido (DRA, 2015).

De acordo com Azevedo (1996), o clima do Arquipélago dos Açores é essencialmente ditado pela localização geográfica das ilhas no contacto da

circulação global atmosférica e oceânica e pela influência da massa aquática da qual emerge.

As mudanças do estado do tempo durante um longo período, traça o clima açoriano com amenidade térmica, elevados índices de humidade do ar (com um valor médio de cerca de 80%) e com regime de ventos persistentes. No que se refere à caracterização sazonal do clima das ilhas Açorianas, o regime pluviométrico é um fator particularmente determinante (Azevedo, 2001).

A temperatura média anual em todo o arquipélago ronda os 17,5°C e a temperatura máxima é normalmente registada no mês de agosto, com cerca de 22,0°C, enquanto que as mais baixas, são registadas no mês de fevereiro, chegando a descer aproximadamente até aos 14,5°C. O gradiente de temperatura decresce à razão de 0,9°C por cada 100 metros de altitude, até ser atingida a temperatura do ponto do orvalho a uma altitude média de 400 m Azevedo (2002). Acima desta cota, a cedência de energia para atmosfera pelo processo de condensação aumenta, traduzindo-se num gradiente de temperatura que passa à razão média de 0,6°C por cada 100 metros, traduzindo-se numa descida de temperatura menos brusca (Fig. 2.10).

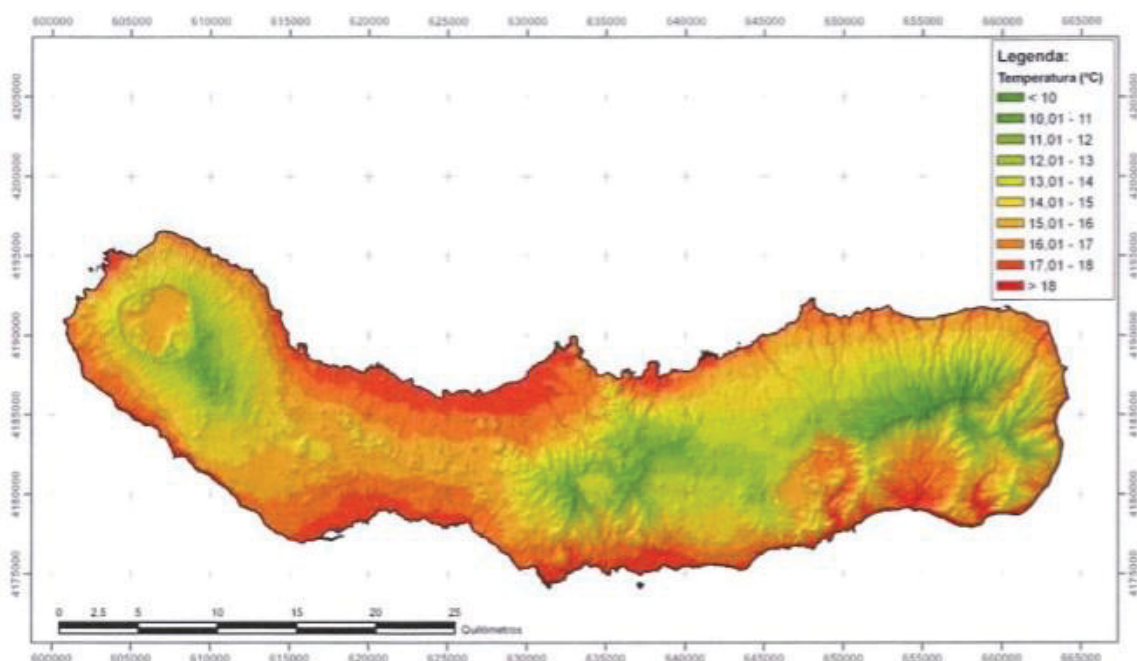


Figura 2.10 – Distribuição espacial da temperatura média anual (°C) para a ilha de São Miguel, segundo o modelo CIELO (DRA, 2015).

Relativamente à precipitação, este elemento climático ao contrário da temperatura aumenta de forma significativa com a altitude, por estar condicionado pelo relevo (Fig. 2.11) que contribui por sua vez para a formação e espessamento da nebulosidade orográfica. A precipitação de origem convectiva é consequente do impulso orográfico, devido ao ar com características de grande instabilidade ou de instabilidade condicional (DRA, 2015). Os meses de setembro e março são os que concentram 75% do total da precipitação anual (Azevedo, 2002).

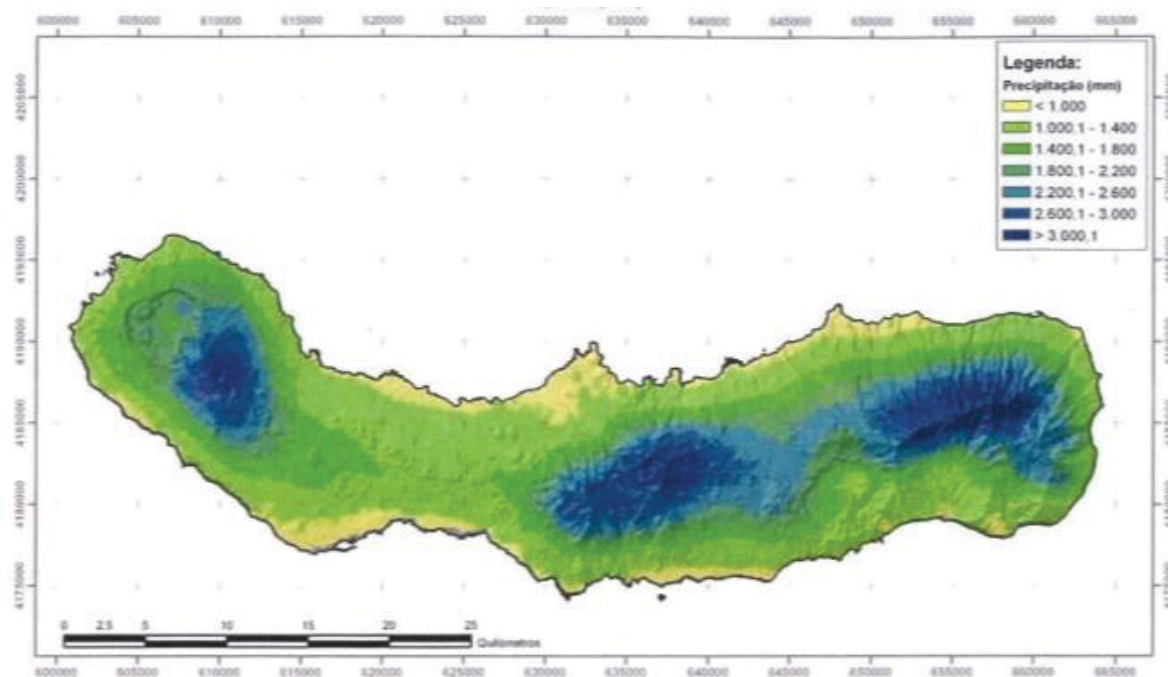


Figura 2.11 – Distribuição espacial da precipitação (mm) para a ilha de São Miguel, segundo o modelo CIELO (DRA, 2015).

Em locais de elevada altitude, como por exemplo a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, o valor de precipitação é superior a 3 000 mm; por outro lado, os locais de menor elevação como por exemplo a zona costeira de Ponta Delgada, a precipitação é inferior a 1 000 mm (Fig. 3.2).

O outro elemento também importante para o enquadramento climático e avaliação do estado do tempo é o vento. Para o autor tendo como estação de referência a de Ponta Delgada, são observadas frequências predominantes de vento, na ordem dos 20% para o rumo norte, 15,5% para o rumo nordeste, e 14,4% para o rumo oeste (Fernandes, 2004).

2.4. HIDROLOGIA

2.4.1. Consumos de Água para Agricultura

O arquipélago dos Açores de uma forma geral tem as suas necessidades hídricas para a pecuária, satisfeitas por captações próprias, na grande maioria de nascentes. Ao comparar os volumes distribuídos através de redes públicas, as carências agropecuárias na ilha de São Miguel apresentam uma relação de um para dois, proporção que se assemelha à média da região, e na qual contrasta com a média nacional que passa a situar-se em torno da relação de sete para um (DRA, 2015).

A agropecuária é um sector onde se verificam elevados consumos de água, o que se deve ao facto de 70% das explorações agrícolas se destinarem à produção de leite e/ou carne (SREA, 2019). A atividade agrícola e pecuária da ilha de São Miguel regista consumos anuais provenientes da rede de água pública na ordem dos 695 000 000 m³ de água. A Lagoa do Caldeirão Grande está inserida no conselho de Ponta Delgada e este representa por si só 73% de toda a água consumida pelo sector na ilha de São Miguel.

No decurso do período que medeia entre 17 de agosto de 2018 e 18 de junho de 2019, que perfaz aproximadamente 10 meses, foi contabilizado um consumo de 83 989,01 m³ de água. O valor do consumo é 2,7 vezes superior à capacidade de armazenamento de água, expondo assim os sistemas de abastecimento de água a níveis hídricos críticos. A variação dos níveis da lagoa do Caldeirão Grande oscila entre o máximo de 5 metros e o nível mínimo de 1 metro de profundidade, indicando volumes de armazenamento respetivamente entre os 30 782,65 m³ e 499 m³ (Fig. 2.12).

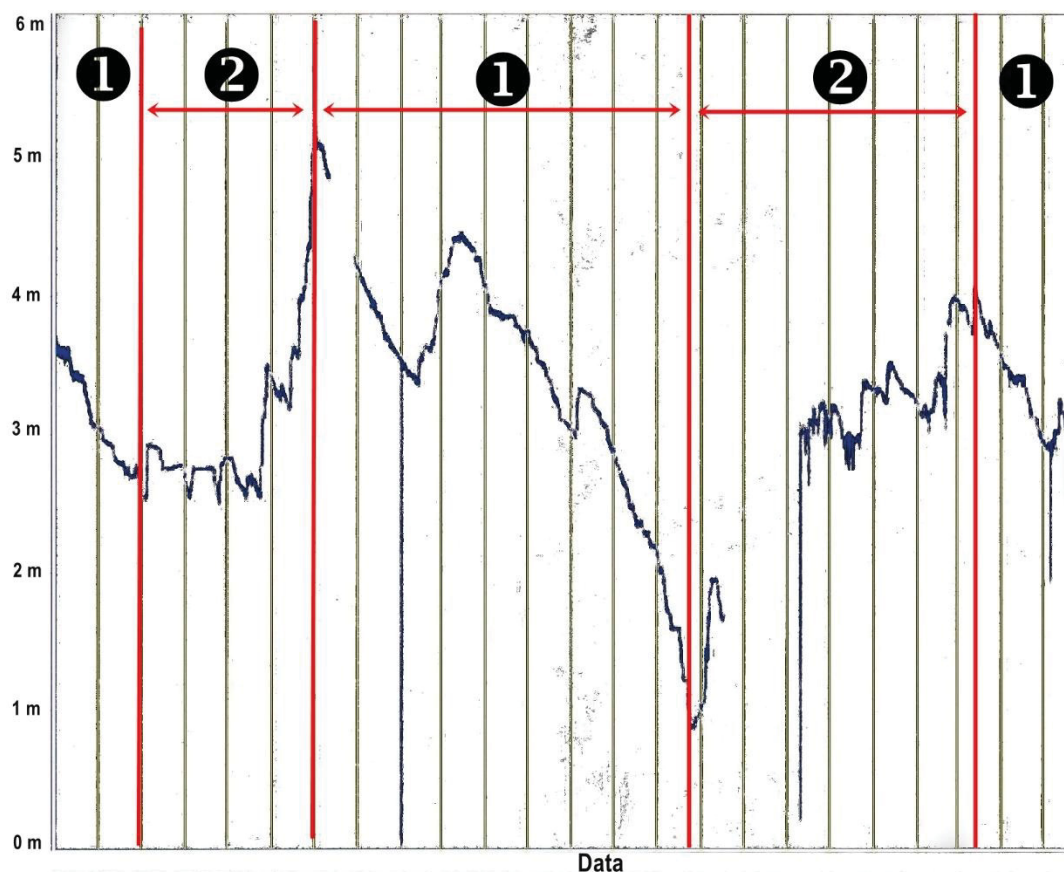


Figura 2.12 – Oscilação dos níveis da lagoa do Caldeirão Grande, no período compreendido entre 1 junho de 2017 e 22 de maio de 2019 (Sistema de telemetria AguaGest). Os números 1 e 2 indicam a fase de vazão e fase de recuperação.

A oscilação do nível de água verificada na lagoa, evidenciam duas fases do ciclo hidrológico desta massa de água: a fase de vazão, reconhecida como intervalo de tempo em que o consumo de água agrícola no sistema de abastecimento é maior que a reposição de volumes de água no reservatório, coincidindo com o período de estiagem, e a fase de recuperação, caracterizada pela acentuada precipitação, próprio da estação de outono e inverno, e por um aumento significativo do volume de água disponível face ao consumo. Resulta assim, que na fase de vazão observa uma perda gradual e significativa de volumes de água, que chega a atingir níveis de indisponibilidade do recurso, enquanto na fase de recuperação ocorre um aumento significativo de volumes de água face ao consumo, e conseqüente aumento gradual do nível da lagoa.

2.4.2. escoamento Superficial

O arquipélago dos Açores, constituído por ilhas de dimensão reduzida, de génese vulcânica, que determina a sua geomorfologia e geologia, assim como a especificidade do clima da Região, proporciona uma drenagem superficial nos Açores predominantemente com um regime temporário (ou intermitente), e muitas das vezes na forma de escoamento do tipo torrencial. Esta generalidade característica do arquipélago não é fator impeditivo do surgimento de cursos de água permanentes, estando estas situações dependentes de descargas profundas de lagoas ou da ocorrência de nascentes associadas a aquíferos suspensos (DRA, 2015).

Com base nas grandes unidades geomorfológicas de São Miguel, verifica-se que na globalidade da Região dos Picos a rede de drenagem organizada é quase inexistente, refletindo as condições geomorfológicas e pedológicas da Região dos Picos. A juventude dos materiais de cobertura (escórias vulcânicas) favorece a infiltração da água da chuva devido ao caráter poroso dos solos, não proporcionando escoamento superficial organizado (DRA, 2015).

A média da Região para o escoamento superficial situa-se nos 322×10^6 m³/ano, para o caso específico da ilha de São Miguel o valor de escoamento é considerado o mais alto da região, $1\,731 \times 10^6$ m³ (DROTRH-INAG, 2001).

Apesar das limitações do modelo utilizado nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica nos Açores PGRH (DRA, 2015), este modelo deverá ser entendido, como uma tentativa de uma aproximação genérica à avaliação destas componentes. Este modelo de escoamento baseia-se principalmente no superavit hídrico (S_{av}), que resulta por sua vez do balanço hídrico sequencial à escala mensal, à relação observada entre a densidade de drenagem da bacia (D_d) e a densidade de drenagem máxima observada no conjunto das unidades drenantes ($D_{d\,máx}$). Assim, obtêm-se a seguinte equação para determinar o valor do escoamento anual (E_{sc}) (DRA, 2015):

$$E_{sc} = (a + b) \left(\frac{D_d}{D_{d\,máx}} \right) S_{av}$$

Esta expressão empírica do escoamento tem como fundamento conceptual a convicção clássica de que a densidade de drenagem de alguma forma reflete os diferentes condicionalismos, nomeadamente, os geomorfológicos e geológicos que determinam o escoamento superficial e a infiltração (DRA, 2015). Em particular, da calibração dos coeficientes a e b (Azevedo, 1998), resultam os valores 0,06 e 0,7, respetivamente.

Na indisponibilidade de obter os valores da bacia do Caldeirão Grande, recorreu-se aos dados da bacia hidrográfica da Lagoa Rasa para determinar a componente evapotranspiração (Evt, 465,94 mm), DRA (2015). Retirando ao valor da precipitação a Evt, resultam 301,46 mm de superavit hídrico na bacia do Caldeirão Grande. Da aplicação da expressão numérica anterior resulta:

$$Esc = (0,06 + 0,7)\left(\frac{0,06}{0,396}\right)2618 ; Esc = 301,46 \text{ mm/ano}$$

A Dd corresponde à soma de todos os cursos de água impermeabilizados sobre a área da bacia do Caldeirão Grande, e $Dd_{máx}$ o comprimento máximo de um curso de água sobre a área da bacia;

Todavia este escoamento superficial de água na bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, tem dois destinos que são distintos entre si, o Caldeirão Grande e as Empadadas (Fig. 2.13).



Figura 2.13 – Delineamento a vermelho das bacias hidrográficas endorreicas, Caldeirão Grande, Carvão e Empadadas, vista da costa norte da ilha de São Miguel (adaptado do Google-maps).

2.4.3. Escoamento Subterrâneo

A hidrogeologia do arquipélago dos Açores evidencia o carácter heterogéneo e anisótropo do meio vulcânico. Neste contexto as condições hidrogeológicas em regiões vulcânicas estão relacionadas primariamente com os tipos de rochas que constituem o substrato regional (Cruz, 2004). A génese, o modo de jazida e o estado de alteração, bem como a idade e história tectónica, são fatores reguladores da circulação da água subterrânea em rochas vulcânicas (Costa, 2006).

As rochas vulcânicas, quando permeáveis, formam aquíferos do tipo fissurado, geralmente associados a escoadas lávicas e escoadas piroclásticas consolidadas, e também aquíferos do tipo poroso, em formações piroclásticas não consolidadas Costa (2006). Os primeiros estão relacionados com permeabilidade secundária representada por numerosas fissuras, resultantes do próprio processo de arrefecimento, e por fraturas e falhas relacionadas com a atividade tectónica. Nos aquíferos do tipo poroso os depósitos piroclásticos apresentam um comportamento hidrogeológico idêntico ao das rochas sedimentares não consolidadas, em que a sua permeabilidade depende das características primárias.

As escoadas lávicas traquíticas *s.l.* mostram um potencial hidrogeológico geralmente menor que o das escoadas lávicas basálticas *s.l.*, porque apresentam no primeiro caso, porosidades significativamente mais baixas (Custódio & Llamas, 1983). Todavia, numa mesma escoada lávica, a condutividade hidráulica pode diferir entre as zonas maciças e os níveis mais escoriáceos (níveis de *clinker*), sendo superior neste último caso. Realça-se ainda a existência de vesículas, fraturas singenéticas e moldes de tubos lávicos que conferem à rocha maior porosidade e permeabilidade (Costa, 2006).

No que respeita às rochas piroclásticas, o seu potencial hidrogeológico está dependente de um conjunto de características primárias, como sejam a dimensão dos clastos, a sua calibração e o grau de consolidação dos depósitos, onde a porosidade mais elevada corresponde aos depósitos de queda recentes

(escórias, pedra-pomes) e a mais baixa a escoadas piroclásticas (Custódio & Llamas, 1983). Porém, apesar de se verificarem elevadas porosidades no caso dos tufos, os valores da condutividade hidráulica podem ser reduzidos (Cruz, 2004).

Foram demarcados 54 sistemas aquíferos nas ilhas açorianas, dos quais seis na ilha de São Miguel, posteriormente delimitados como massas de água subterrânea no âmbito do Plano de Gestão Hidrográfica dos Açores (Fig. 2.14).

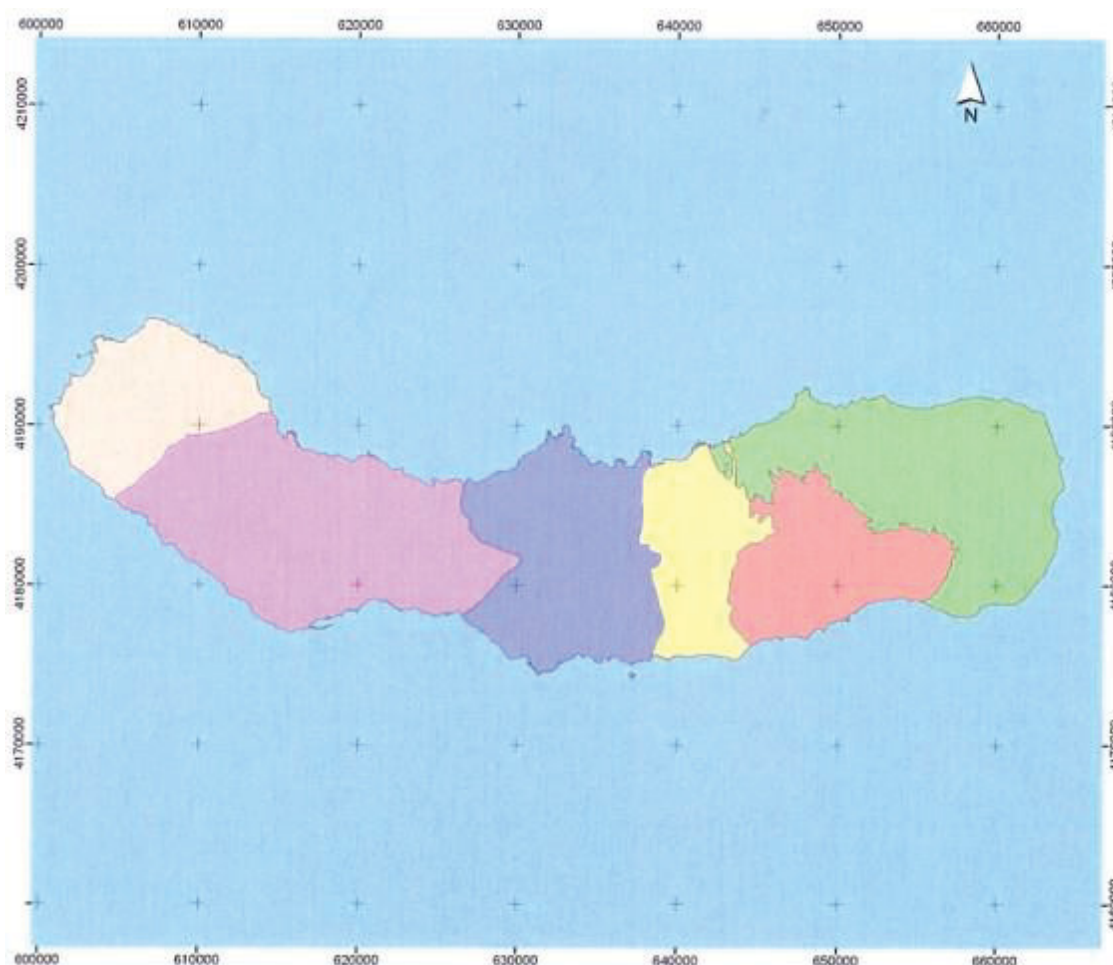


Figura 2.14 – Massas de água subterrânea da ilha de São Miguel (leitura da figura da esquerda para a direita: Sete Cidades; Ponta Delgada- Fenais da Luz; Água de Pau; Achada, Furnas – Povoação; Nordeste – Faial da Terra); (DRA, 2015).

A definição das várias massas de água subterrânea teve por base, essencialmente critérios na sua maioria de carácter geológico, como a vulcanoestratigrafia, a litologia e os condicionamentos tectónicos, embora também tenham sido considerados os aspetos hidrogeológicos, isto é, as características

gerais de funcionamento, a produtividade dos caudais específicos e os parâmetros hidráulicos (Cruz, 2001).

A bacia hidrográfica do Caldeirão Grande pertence à massa de água subterrânea de Ponta Delgada – Fenais da Luz, tendo uma área na ordem dos 196,71km² e representa 26,4% da superfície de São Miguel, correspondendo ao setor central – ocidental da ilha, e confronta para NE com a massa Sete Cidades e a W com a massa Água de Pau (DRA, 2015).

Os constrangimentos geológicos e hidrológicos representam 40% dos recursos estimados a longo prazo. Sendo assim, a disponibilidade real da massa de água subterrânea Ponta Delgada – Fenais da Luz equivale a 60% do total (129,7 hm³/ano, enquanto o volume restante (51,86 hm³/ano) é considerado como não explorável.

3. PRECIPITAÇÃO OCULTA E NEVOEIROS

3.1. RESUMO HISTÓRICO

Diversas gerações de cientistas debruçam-se sobre a potencialidade de precipitação oculta como eventual origem de água, diretamente ou indiretamente pela recarga artificial de aquíferos. Os diversos estudos desenvolvidos, quer por intermédio da construção de captadores artificiais (redes; infraestruturas), quer por aproveitamento do meio natural, nomeadamente aproveitando a vegetação, em particular em florestas, são essenciais para a caracterização da importância da precipitação oculta.

Neste contexto, desde o século XVI, com Frei Bartolomeu de Las Casas, até à atualidade, foram registados contributos, ou pelo menos menções, à precipitação oculta que demonstram a efetiva potencialidade, em obter volumes de água a partir de massas de ar húmido. O homem desde que soube da sua existência deste fenómeno natural, tem vindo cada vez mais aperfeiçoar e otimizar a forma de captar.

Em seguida, salienta-se alguns destes marcos históricos por ordem cronológica:

- Frei Bartolomeu de Las Casas, cronista das viagens de Cristóvão Colombo à América, em 1524, ao passar pela ilha de Hierro nas Canárias descreveu “Garoé” como uma Árvore Santa que jorrava água das nuvens. Esta descrição mencionada na bíblia é uma referência aos nossos antepassados como utilizadores de “precipitações ocultas”, (Baladón, 1995).
- A Crimeia passou por uma seca terrível nos finais do século XVIII, e o Governo russo encomendou ao engenheiro russo Zibold a construção de uma conduta que previa o transporte de cerca de 500 m³/dia de água para Theodesia, uma cidade fundada cerca de 600 anos A.C. A água captada a 30 Km de distância na montanha de Aguer-Mikh teria origem na florestação de várias centenas de hectares (Baladón, 1995).

- Na França, Chaptal (1928) construiu em 1929 um condensador baseado nos resultados de experiências anteriores sobre o orvalho e fixação de vapor de água no solo, em condições climáticas semelhantes de Theodesia e Montpellier. O objetivo da forma de obtenção de água seria a mesma que foi usada na Crimeia.
- Segundo Baladón, (1995), o primeiro a utilizar uma rede metálica para captar precipitação oculta foi Dieckman no ano de 1931. Para isso construiu um cilindro de diâmetro de $2/3$ da boca do udómetro, verificando que o resultado obtido de captação no seu dispositivo com a rede era superior à da precipitação medida normalmente.
- Nagel (1956) realizou um dos primeiros ensaios com captador de Grunow. O projeto desenvolvido na Montanha de Mesa, na África do Sul, apresentou 1 940 mm para precipitação normal e 3 294 mm para nevoeiro entre 1 de março de 1954 a 28 de fevereiro de 1955.
- Na Austrália, em 1956, realizou-se outra experiência semelhante, mas de curta duração (8 dias). Neste projeto, instalou-se uma tela plana vertical de 2 metros de comprimento por 0,914 m, colocada sobre a boca do udómetro. A área total era de 1,8 m², mas apenas 0,1856 m² correspondiam à área útil. Ao longo do período de observação a região esteve quase sempre permanentemente coberta de nevoeiro e as quantidades de precipitação obtidas foram cerca de dez vezes superiores às registadas no udómetro normal (Cunha, 1964).
- Em 1957, com a fundação da Universidade Católica do Norte, em Antofagasta (Chile), iniciou-se uma intensa investigação sobre os nevoeiros que se observavam todos os dias nas colinas que rodeavam aquela cidade. Desta forma, o físico chileno Carlos Espinosa, e o físico e sacerdote uruguaio Germán Saa inventaram, sucessivamente, uma série de dispositivos com finalidade de obtenção de água a partir de nevoeiros

com o objetivo de atenuar a falta de água em algumas povoações localizadas em pleno deserto de Atacama (Saa & Valdez, 1963)

- Em julho de 1991, com o apoio económico do Governo do Canadá, foram desenvolvidos trabalhos para o abastecimento de água à aldeia piscatória de *Chungungo*, localizada no deserto do Atacama (Chile) e que contava com cerca de 400 habitantes. O novo sistema de abastecimento de água potável compreendia a instalação de captadores a 7 km de distância, mais propriamente nos montes de El Tofo (Baladón, 1995).
- Através da cooperação de França iniciaram-se também no Perú, em 1993, os mesmos trabalhos que foram realizados Chungungo (Chile). O abastecimento com água potável no *Colégio Villa Caritas* realizou-se através de painéis com uma superfície de 2 500 m² e com capacidade de débito de um volume médio diário de 10 000 litros (Baladón, 1995).
- Um pouco por todo o mundo a recolha de dados de nuvens de floresta, demonstra os volumes de precipitação de nevoeiro poderá rondar acima dos 14 - 28% e 15 - 100% do total de precipitação durante a estação de seca e estações de chuva respetivamente (Bruijnzeel & Proctor 1995).
- Em Omã, onde a precipitação média anual está compreendida entre 10 e 100 mm/ano, a precipitação de nevoeiro (Ingraham & Matthews, 1988, 1995; Scholl *et al.* 2002) recolheu, por meio artificial nos seus coletores, um volume de água cinco vezes maior do que a precipitação vertical (Schemenauer & Cereceda, 1994).
- Em Bica da Cana na ilha da Madeira, Prada (2000) conseguiu obter altas rentabilidades de captação de nevoeiro no Standard Fog Collector (SFC), atingindo um valor máximo de 118 L/m² num só dia. O elevado número de dias do ano com nevoeiro, resulta numa rentabilidade média diária de precipitação oculta de 21,3 L/m²/dia, e num volume acumulado superior a 5 001 mm/ano.

- Na zona costeira do norte do Chile, Cereceda *et al.* (2002) reporta que durante três anos e meio a captação artificial de nevoeiro em dois coletores obteve uma média de 8,5 mm por dia, o que equivale a mais de 3 000 mm por ano.
- Figueira *et al.* (2006), considera o importante contributo dos nevoeiros na sua globalidade do *input* hídrico anual de água nas florestas da ilha da Madeira (Portugal): 13% durante um ano no urzal de substituição, 34% na laurisilva durante o verão e 11% durante o inverno.

A captura de nevoeiros através de sistemas de redes é uma solução que foi adaptada por muitos países em diversas situações, indo ao encontro das particularidades do local e da necessidade hídrica aí existente, como por exemplo no Lémen e em Marrocos.

Durante a guerra entre a Arábia Saudita e o Irão, o Lémen sofreu um bloqueio de importações e da ajuda humanitária. Os níveis de pluviosidade do Lémen são muito baixos, desencadeando entre outros problemas, a maior crise de água da história do país. A construção de sistemas de redes pela organização sem fins lucrativos *FogQuest*, tornou possível o abastecimento de água diário às populações (Fig. 3.1), Inverse (2019).



Figura 3.1 – Fotografia dos coletores de Peter Rugg, 16 de fevereiro de 2016 (Inverse, 2019).

O matemático e empresário Aissa Derhur, cuja os pais eram originalmente do monte de Boutmezguida, e a Organização Não Governamental (ONG) marroquina Dar Si Hmad, construíram no sudoeste de Marrocos o maior sistema de redes para captura de nevoeiro. As redes instaladas na região montanhosa de Boutmezguida, localizada na margem do deserto de Saara, permitiu o abastecimento de água à população local (1 225 metros de altitude), poupando-os a uma viagem de 5 km até aos poços existentes para realizarem o seu abastecimento (Fig. 3.2), Reuters (2018).



Figura 3.2 – O maior sistema de rede do mundo para captação de nevoeiro, instalado no monte Boutmezguida (Fotografia da ONG Dar Si Hmad).

3.2. DEFINIÇÃO DE NEVOEIROS E PRECIPITAÇÃO OCULTA

Os nevoeiros formam-se devido à suspensão na atmosfera de minúsculas gotículas de água, com uma velocidade de queda inferior à velocidade das correntes ascendentes que existem no interior da nuvem (DGRAH, 1984). De acordo com Cunha (1964), apenas um número muito reduzido de gotículas de nevoeiro arrastadas pelo vento pode precipitar diretamente sobre o terreno, principalmente por efeito de fenómenos de turbulência, em quantidades diárias que raramente excedem a 0,2 mm. Para Prada (2000), o nevoeiro corresponde às gotículas que detêm um diâmetro radial entre 1 μm e 200 μm . A presença de chuvisco (gotículas com capacidade de precipitarem por si só por ação da gravidade) ocorre quando os valores das gotículas são superiores ao limite, enquanto para a neblina, só se considera os valores que se encontram abaixo do limite estipulado por Prada (2000) (Fig. 3.3).

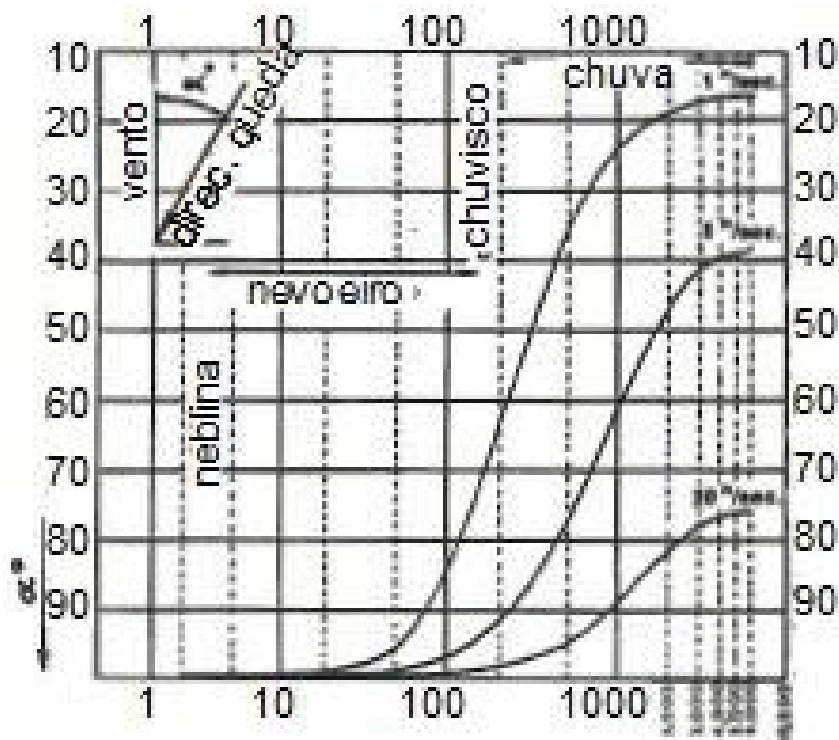


Figura 3.3 – Relação entre as dimensões das gotas de água e o seu ângulo de queda para diferentes velocidades de vento (leitura da figura: diâmetro das gotas no eixo do x) (Nagel, 1956) (retirado de Prada, 2000).

O conceito de nevoeiro, segundo a literatura da especialidade, também pode-se definir como minúsculas gotículas de água que estão suspensas na atmosfera e que reduzem a visibilidade horizontal para distâncias inferiores a 1 km (Glickman, 2000) (Fig. 3.4).

A ocorrência de precipitação oculta pressupõe a presença de um obstáculo, natural ou artificial, no qual por mecanismos de colisão das gotículas de nevoeiro e posterior coalescência, ganham peso suficiente para desenvolver precipitação.

Nesta dissertação, é adotada a designação de precipitação horizontal sempre que se refere a precipitação oculta. No caso da pluviosidade, o termo adotado para referir a mesma é precipitação vertical.



Figura 3.4 – Presença de nevoeiro e redução da visibilidade para valores inferiores a 1000 metros (estrada regional da Ribeira Grande, vista para a costa sul).

No caso da meteorologia comum, considera-se estar perante a presença de nevoeiro, quando a visibilidade horizontal é inferior a 200 metros. (Fig. 3.5).



Figura 3.5 – Presença de nevoeiro, e redução da visibilidade para valores inferiores a 200 metros (Caldeirão Grande).

Os nevoeiros não são consistentes, nem são considerados fenómenos climáticos contínuos (Wanner & Kunz, 1983). A ocorrência de nevoeiros um pouco por todo o mundo desencadeou o interesse pelo respetivo estudo.

Bruijnzeel et al. (2005) e Willis (2005), apresentaram um esquema para agrupar a terminologia disponível sobre os nevoeiros para que esta seja utilizada de forma mais adequada e mais consistente (Fig. 3.6).



Figura 3.6 – Modelo conceptual dos tipos de nevoeiro mais comuns (modificado de Bruijnzeel et al., 2005).

Os nevoeiros mais comuns e mais frequentes são o de radiação, o catabático, de advecção, orográfico, de evaporação e o frontal. No caso dos nevoeiros no arquipélago dos Açores para Bettencourt (1979), os mais frequentes são os frontais (associados a frentes frias estacionárias ou quase), os orográficos (mais comum do lado oeste e sul das ilhas), e os de advecção. A presença destes nevoeiros advém sob atividade de um sector quente alongado, com um anticiclone centrado a sudoeste das nove ilhas, cedendo o lugar a uma advecção de massas de ar tropical marítimo, oriundas de sudoeste, em que a temperatura do ar superioriza-se à temperatura do mar (Bettencourt, 1979).

3.2.1. Nevoeiros de Radiação

O nevoeiro de radiação geralmente ocorre na estação de inverno, em condições de céu limpo e vento calmo. O arrefecimento da superfície terrestre decorre durante a noite pela perda de radiação térmica junto ao solo, reduzindo assim a

capacidade de o ar manter a humidade, e conseqüentemente ocorre a condensação da névoa.

Os nevoeiros de radiação geralmente dissipam-se logo após o nascer do sol, e com o aquecimento da superfície do solo. A exceção é verificada em áreas de alta altitude, onde o sol tem pouca influência no aquecimento da superfície, Met Office (2019).

3.2.2. Nevoeiros Catabáticos

Forma-se pela condensação do vapor resultante da evaporação dos rios, lagos e da transpiração de vegetação, arrefecido pelo ar frio que desce pelas encostas até ao fundo dos vales (Fig. 3.7). Este é o nevoeiro típico dos rios, vales, lagoas, lagos e albufeiras. (Baladón, 1995)



Figura 3.7 – Presença de precipitação oculta do tipo catabático na lagoa do Caldeirão Grande.

3.2.3. Nevoeiros de Advecção

A névoa de advecção ocorre quando o ar húmido passa por uma superfície fria e é arrefecido, Met Office (2019). O exemplo comum deste fenómeno é quando uma frente quente passa por uma área coberta de neve. Também é comum no mar quando o ar tropical húmido se desloca sobre águas mais frias. Se o vento soprar na direção certa, a neblina do mar pode ser transportada pelas áreas costeiras.

3.2.4. Nevoeiros Orográficos

O nevoeiro orográfico forma-se quando os ventos sopram o ar para um declive ou elevação (Fig. 3.8). O ar arrefece à medida que este vai subindo, permitindo assim que a humidade seja condensada, Met Office (2019).



Figura 3.8 – Presença de nevoeiro orográfico no pico da Serra Gorda, vista das Arribanas, Arrifes.

3.2.5. Nevoeiros de Evaporação

A sua formação deve-se à evaporação causada pela passagem de ar frio sobre a água mais quente ou terra húmida. Quando parte da água relativamente quente evapora em camadas de ar baixas, esta aquece o ar fazendo com que este suba e seja misturado com o ar mais frio que passou pela superfície. O ar quente e húmido é arrefecido enquanto é misturado com o ar mais frio, permitindo a ocorrência de condensação e formação de nevoeiro de evaporação, (Met Office, 2019)

3.2.6. Nevoeiro Frontal

É formado pela evaporação da própria chuva quando cai, ou pela evaporação da água do solo, quer ao aproximar-se uma frente, quer durante a sua passagem. Estas massas de ar carregadas de humidade dirigem-se para a zona de convergência da “frente intertropical”, arrastadas pelos alíseos originados pelo anticiclone dos Açores, circulando assim a temperaturas elevadas e com espessuras da ordem dos 2 000 m (Baladón, 1995).

4. NUVENS

A nuvem define-se como um aglomerado de partículas de água que estão suspensas na atmosfera no estado de vapor de água condensado ou no estado sólido (gelo). É compreensível que a sua formação e forma é condicionada pela velocidade do vento e pela quantidade de água que estas possuem ao nível interno.

Os valores de nebulosidade são distribuídos segundo uma lei de distribuição de probabilidade em U, não seguindo uma distribuição de acordo com a curva normal (gaussiana). Os valores de nebulosidade mais frequentes no arquipélago dos Açores, estão abaixo de 0,3 e acima 0,7, sendo os valores médios os menos frequentes. No período compreendido entre 1951 e 1969, o maior número médio de dias no ano com céu nublado ou encoberto ($N > 0,8$), verificou-se em Lajes/aeroporto (180 dias), sendo que o menor ocorreu em Santa Maria/aeroporto (122 dias). No que diz respeito à ilha de São Miguel, mais propriamente a Ponta Delgada, devido à sua proximidade com a bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, verificou-se que para o mesmo período de tempo (1951-1969), o mês de janeiro apresentou o maior número médio de dias no ano com céu nublado ou encoberto, enquanto o mês de agosto (4,9) apresentou menor nebulosidade ($N > 0,8$). Por outro lado, o mês de julho registou o maior número de dias com céu pouco nublado ou limpo (0,5), contrastando com o mês de novembro (0,9) (Bettencourt, 1979).

A tipologia das nuvens varia segundo a altitude e forma, se tivermos como base a bibliografia de Royal Meteorological Society (RMets, 2019).

As nuvens denominadas de alta altitude, estão presentes acima dos 6 000 metros e poderão adquirir três tipos de forma segundo o RMets (2019): *cirrocumulis*, *cirrus* e *cirrostratus* (Figura 4.1 a 4.4).

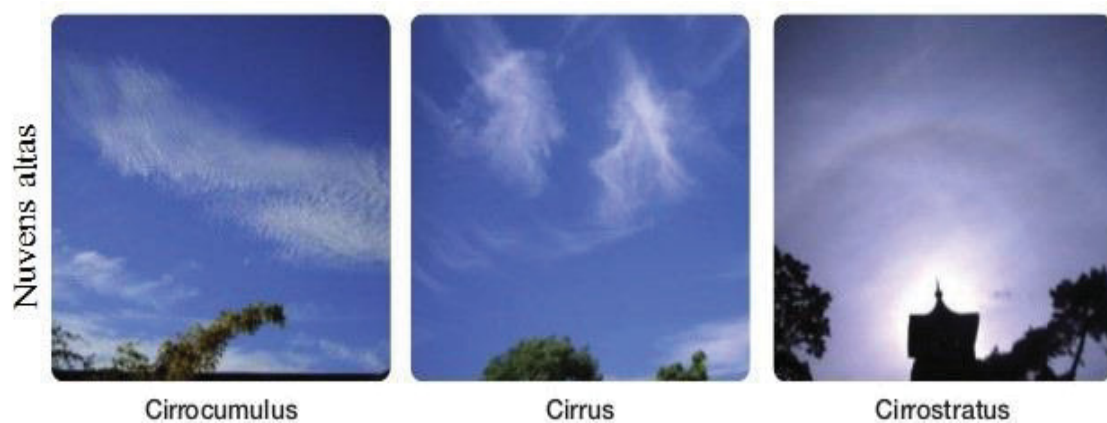


Figura 4.1 – Nuvens de alta altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).

As nuvens de média altitude estão compreendidas entre as altitudes de 2 000 a 6 000 metros e são designadas por *Alto cumulus* e *Altostratus* segundo a sua forma (Fig.4.2).

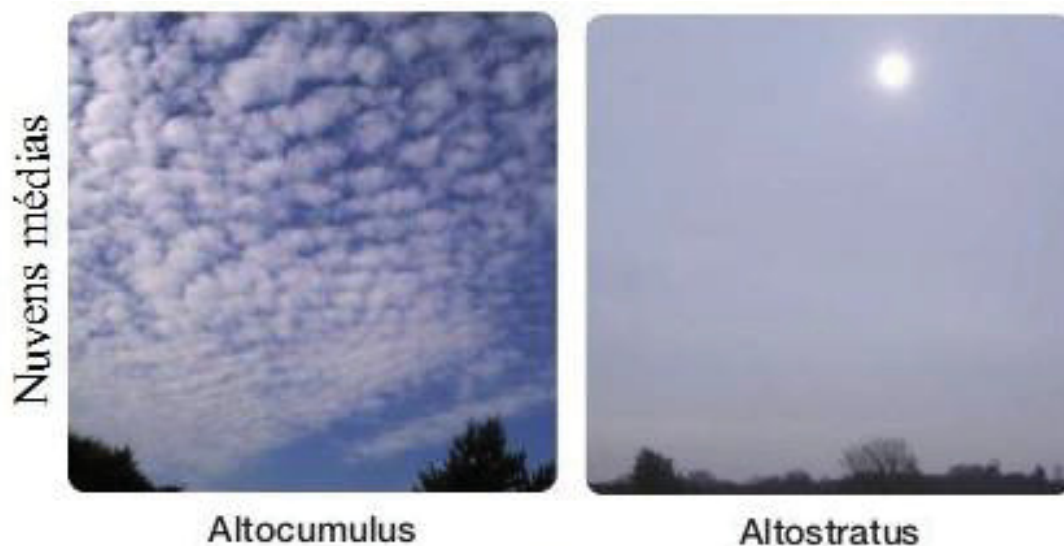


Figura 4.2 – Nuvens de média altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).

As nuvens de baixa altitude, são as nuvens situadas abaixo dos 2 000 metros, e segundo a forma poderão ser do tipo, *cumulus*, *stratocumulus* e *stratus* (Fig. 4.3).

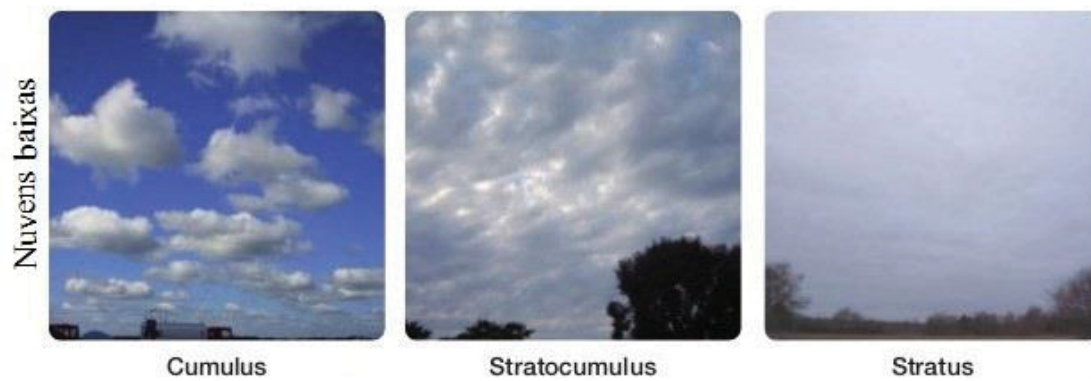


Figura 4.3 – Nuvens de baixa altitude segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).

A exceção a esta regra para classificação/tipologia de nuvens segundo altitude, são as “*Rain Falling*” ou nuvens de chuva, porque este tipo de nuvens contém no seu interior volume de água condensado, que dá origem á queda de precipitação (precipitação vertical), no entanto, de acordo com a forma, estas podem ser designadas por *cumulonimbus* e *nimbostratus* (Figura 4.4).

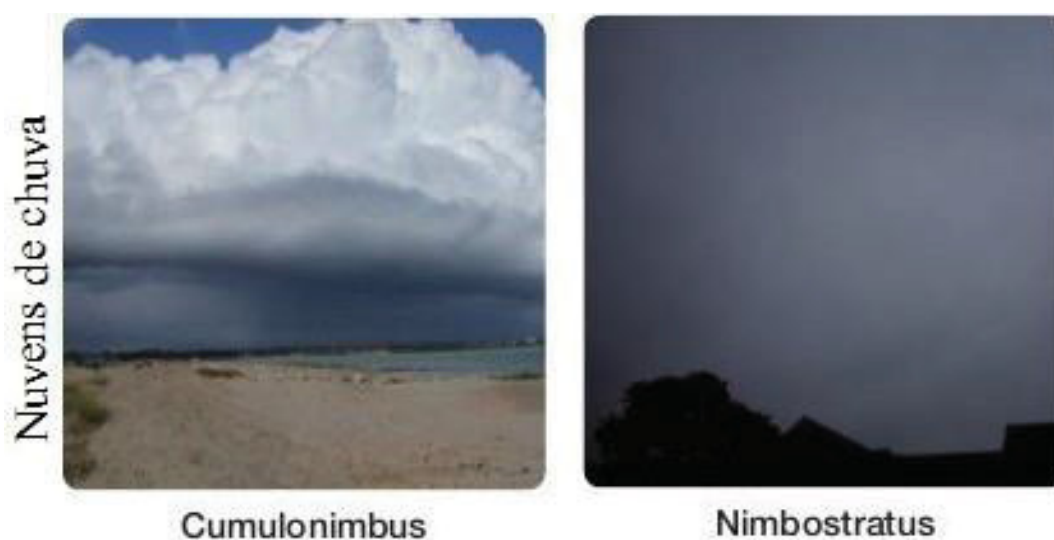


Figura 4.4 – Nuvens de chuva segundo a classificação de nuvens RMetS, (2019).

5. METODOLOGIA

5.1. PRIMEIRO ESTUDO DESENVOLVIDO

A primeira abordagem para o estudo de precipitação oculta na ilha de São Miguel ocorreu entre 10 de junho de 2012 e 9 de julho de 2012, numa tentativa de demonstrar a sua potencialidade como origem de água. Para comprovar esta hipótese foram selecionados dois locais para a instalação dos dispositivos de medição, nomeadamente em cada sítio um udómetro e um captador de neveiros. Esta primeira recolha de dados relativos à ocorrência de precipitação oculta foi desenvolvida pelo autor, embora antes do período de elaboração desta dissertação.

Os dois dispositivos baseados num modelo de baixo custo Rain-gauge da Universidade de Coimbra (RUC) (Fig.5.1) foram instalados numa primeira fase no interflúvio da bacia hidrográfica da Lagoa do Caldeirão, à cota de 760 m.

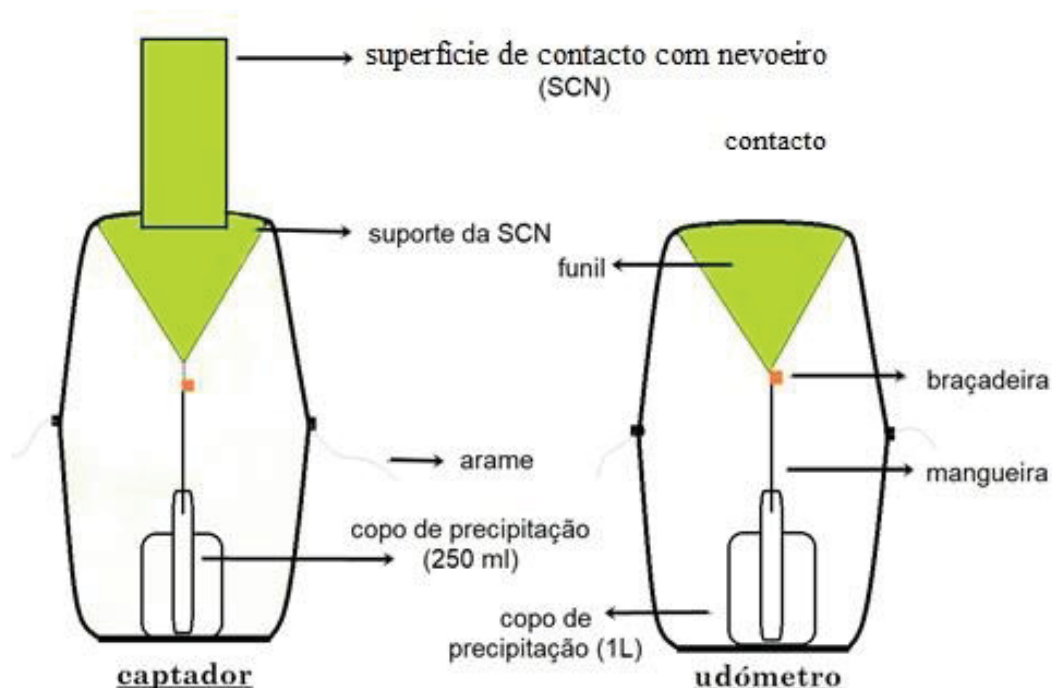


Figura 5.1 – Corte transversal dos aparelhos, udómetro captador (lado esquerdo) e udómetro normal (lado direito).

Numa segunda fase deste mesmo estudo procedeu-se à instalação dos dispositivos na Abelheira de Cima (Fajã de Baixo). Neste local, situado à cota de

115 metros de altitude em relação ao nível do mar, a recolha de dados decorreu no período entre 25 janeiro de 2013 e 4 de abril de 2013, totalizando 62 medições.

A análise dos dados recolhidos permite constatar que no período de estiagem o volume de precipitação oculta acumulado na estação meteorológica da Lagoa do Caldeirão Grande demonstrou grande potencialidade ao nível de captação de volumes hídricos de nevoeiro, ao contrário da estação instalada no local da Abelheira de Cima no período de estação de inverno, em que o volume acumulado da captação de nevoeiro não apresenta rentabilidade hídrica relevante (Tabela 5.1).

Os resultados deste primeiro estudo, não obstante o pequeno período de observação, permitem sugerir que a rentabilidade da captação de nevoeiro na ilha de São Miguel aumenta com a altitude, o que está em linha com o proposto pela Organização Mundial de Meteorologia (Baladón, 1995), que aponta para um nível mínimo de 600 metros de altitude.

Tabela 5.1 – Dados do primeiro estudo desenvolvido.

Variável	Local de Instalação	
	Interflúvio da Lagoa do Caldeirão	Abelheira de Cima (Fajã de Baixo)
Precipitação oculta acumulada (mm)	100	33
Precipitação normal acumulada (mm)	72	229
% média de precipitação oculta	51	15
% média de precipitação normal	49	85

5.2. SEGUNDO ESTUDO DESENVOLVIDO

Como se encontra plenamente estabelecido, os volumes de água potencialmente recolhidos ao longo de vários anos hidrológicos consecutivos não são homogéneos, e sofrem variações intra-anuais e inter-anuais.

Com o objetivo de demonstrar a variação do volume de água de precipitação anual captado ao longo de um ano hidrológico desenvolveu-se um segundo

período de observações entre 23 de julho de 2013 e 23 de julho de 2014. Durante este período de estudo recolheram-se 142 amostras volumétricas de precipitação natural e precipitação oculta. Neste segundo projeto houve a necessidade de construir e desenvolver dois dispositivos, o udómetro e o captador de nevoeiros, pretendendo com isso construir estruturas mais robustas, com maior capacidade de armazenamento de água, e dotar o captador de uma superfície de contacto de nevoeiro de rede metálica axadrezada (Fig.5.2).

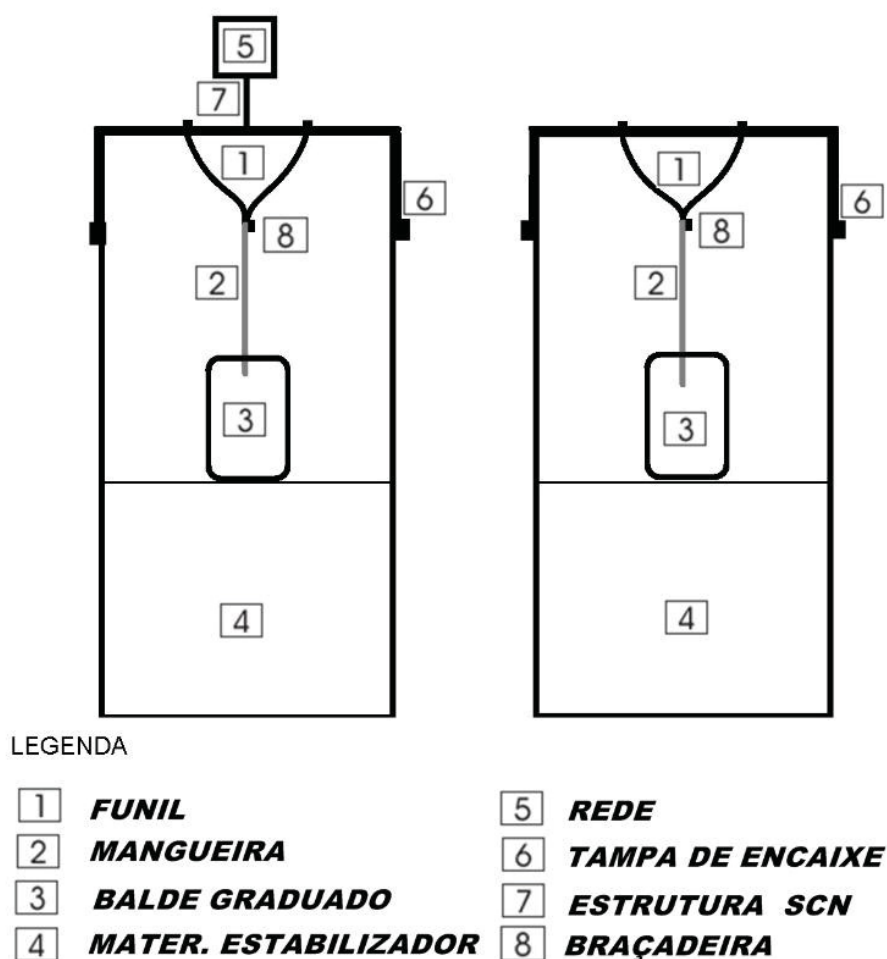


Figura 5.2 – Dispositivos de madeira, captador de nevoeiros (à esquerda) e udómetro (à direita).

As 142 medições efetuadas demonstram que, considerando a precipitação total observada, a percentagem média de precipitação vertical é de 40%, enquanto à precipitação oculta corresponde uma média de 60% do volume de cada amostra (Fig.5.3).

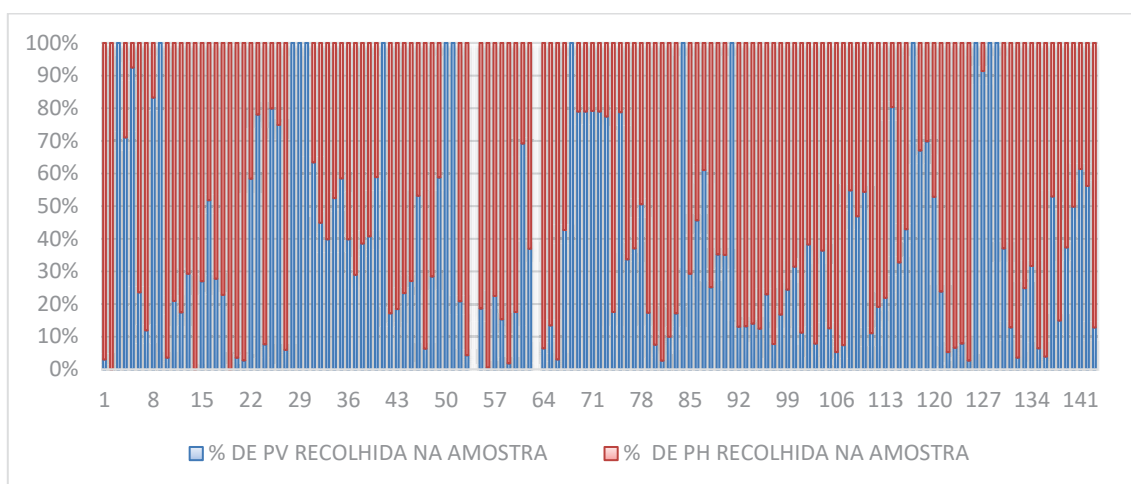


Figura 5.3 – Percentagem volumétrica de PV (precipitação vertical) e PH (precipitação horizontal) em cada uma das 142 amostras recolhidas no segundo estudo desenvolvido.

Os resultados obtidos, neste segundo estudo permitiram verificar que o volume acumulado de precipitação oculta totalizou 5 345 mm, enquanto a precipitação vertical acumulou 2,8 vezes menos (1 848 mm). A Tabela 5.2 demonstra um menor volume acumulado de precipitação vertical e precipitação oculta para a estação de verão 219 mm e 758 mm respetivamente, enquanto a estação de Inverno foi o período de tempo com maior volume acumulado 665 mm para a precipitação vertical e 1968 mm para a precipitação horizontal.

Tabela 5.2 – Registo dos volumes acumulados, segundo a estação do ano.

Volume Acumulado		
Estação/Dispositivo	Udómetro (mm)	Captador (mm)
Outono	427	1626
Inverno	665	1968
Primavera	537	993
Verão	219	758

5.3. TERCEIRO ESTUDO DESENVOLVIDO

Para além dos dois estudos anteriormente referidos, foi necessário realizar um terceiro estudo para sustentar a dissertação sobre a precipitação oculta. Para este último estudo, realizaram-se 65 medições durante 233 dias. Fundamentase o prolongamento do período de recolha de dados até 29 de agosto, com a necessidade de estudar o comportamento da precipitação oculta e precipitação vertical, durante um maior período de tempo em estação de seca.

Para este terceiro estudo, foi necessário proceder à instalação de dois dispositivos, um captador de nevoeiro e um udómetro, novamente no interflúvio da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, a uma altitude de 740 m, cota acima da altitude mínima recomendada pela OMM. A data da instalação dos dois dispositivos na cumeeira da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande foi no dia 8 de janeiro de 2019, e a primeira recolha de dados ocorreu apenas três dias depois, no dia 11 de janeiro de 2019.

Por forma a permitir a comparabilidade dos resultados obtidos com dados de outros estudos realizados um pouco por todo o mundo selecionou-se um captador de precipitação oculta idêntico. Deste modo, a escolha inevitável é o coletor padrão (*Standard Fog Collector; SFC*), proposto por Shemenauer & Cereceda (1994) (Fig. 5.4).

A estrutura padronizada do dispositivo SFC é resistente aos ventos e consiste numa baliza metálica de forma quadrada, com uma área de captação de nevoeiros de 1 m² (1 m x 1 m) e com um diâmetro de 1 centímetro. Esta estrutura é colocada a 2 metros do solo, onde é instalado posteriormente, uma rede dupla de plástico. A rede plástica com formato triangular, apesar de não estar certificada com origem manufaturada do Chile, como sugerem Shemenauer & Cereceda (1994), tem as mesmas características. Exemplo disto são as fibras de 1 mm de largura e o espaçamento entre linhas horizontais de 1,3 centímetros. Estas características, permitem a comparação direta dos volumes de precipitação oculta com outros SFC instalados noutros locais do mundo, sujeitos a diferentes condições climáticas.



Figura 5.4 – Dispositivo *Standard Fog Collector* segundo Shemenauer & Cereceda (1994).

Por sua vez, a rede dupla do coletor ocupa 60% da superfície, deixando os outros 40% da área abertos para a passagem de massas de ar. Por debaixo da rede existe uma caldeira com 1,04 m de comprimento e 15 cm de largura, de secção retangular. A caldeira segundo o modelo seguido, tem uma profundidade de 10 cm, e é colocada assimetricamente com 2 cm do lado onde sopra o vento, e 12 cm para trás, de forma a recolher os pingos transportados pelos ventos predominantes. Os volumes de água precipitada na caldeira, são conduzidos por meio de mangueiras para os reservatórios (Fig. 5.5, 5.6 e 5.7).



Figura 5.5 – Dispositivo *Standard Fog Collector* segundo Shemenauer & Cereceda (1994) em dia de nevoeiro

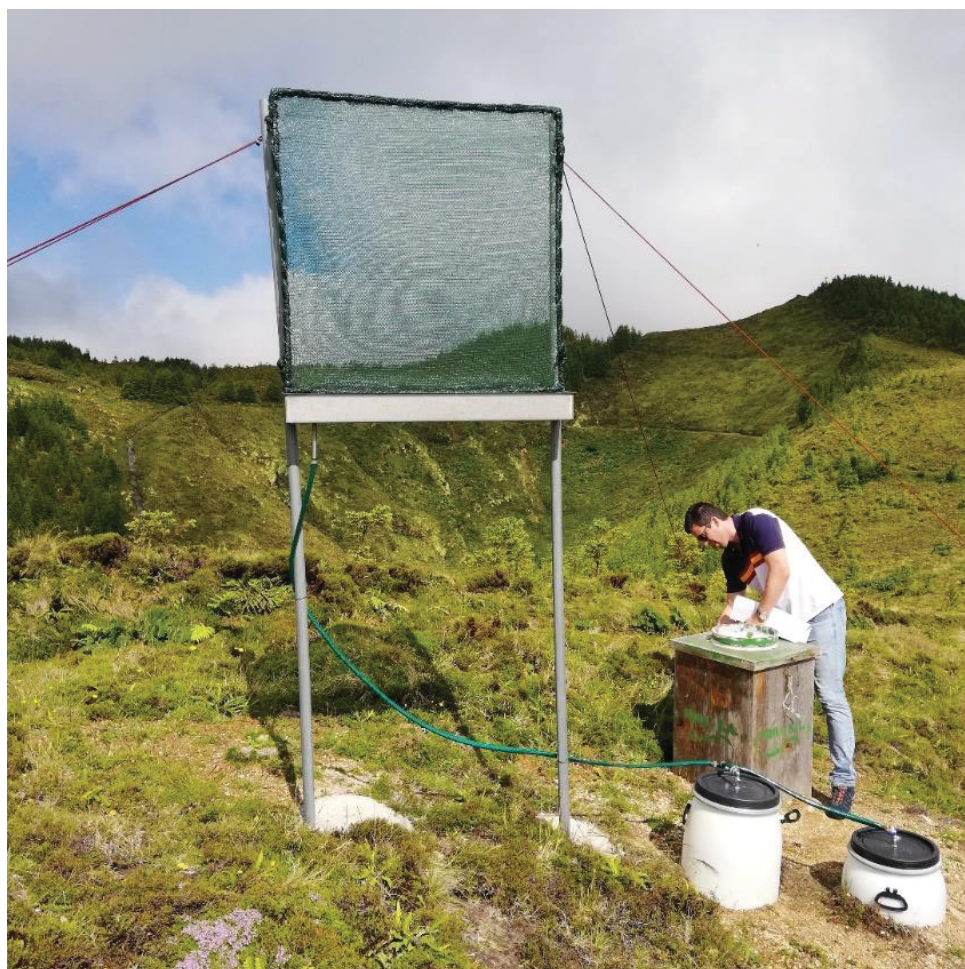


Figura 5.6 – Dispositivo *Standard Fog Collector* instalado na cumeeira da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande.

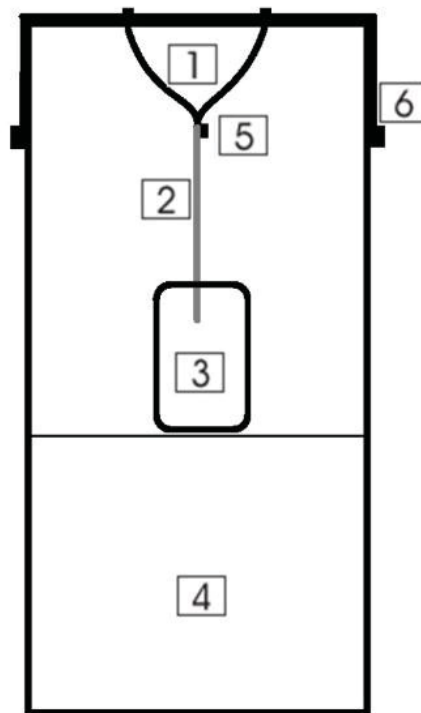


Figura 5.7 – Pormenor do dispositivo *Standard Fog Collector*, captando nevoeiro (25 de agosto de 2019).

Os ventos predominantes na ilha de São Miguel, tal como registados na estação de referência de Ponta Delgada, mostram uma maior frequência de ventos predominantes na direção norte ~20% (Fernandes, 2004). No entanto, dada a localização da SFC nesta direção apresentar um obstáculo natural, resultante do interflúvio da Lagoa das Empadas, que chega a atingir os 820 m de quota, a estrutura foi direcionada para a direção nordeste com o auxílio da bússola. Realça-se que a frequência de ventos anual com rumo NE atinge os 15,5% na ilha de São Miguel (Fernandes, 2004).

O outro dispositivo instalado para o estudo foi um udómetro, sendo este apenas um elemento essencialmente comparativo (Fig. 5.8). Trata-se, em termos gerais, de uma estrutura de madeira com funil de PVC no topo, com abertura de “boca”

de 0,09 metros quadrados. A “boca” do dispositivo encontra-se a 1 m do solo e os volumes de água depositados são transportados através da mangueira até ao reservatório. No fundo da estrutura é colocado material diverso, como terra e rochas, para que haja estabilidade do dispositivo contra os ventos fortes a que este fica exposto.



LEGENDA

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|-------------------------|
| 1 | FUNIL | 5 | BRAÇADEIRA |
| 2 | MANGUEIRA | 6 | TAMPA DE ENCAIXE |
| 3 | BALDE GRADUADO | | |
| 4 | MATER. ESTABILIZADOR | | |

Figura 5.8 – Udómetro utilizado no terceiro estudo.

As medições volumétricas dos dois dispositivos são realizadas *in situ* de forma manual e individual, através do auxílio de recipientes graduados, nomeadamente, um balde de 9 L, um copo graduado de 1 L e o copo *goblet* de 100 mL. A capacidade de armazenamento do udómetro é de 35 L, enquanto o SFC apresenta um armazenamento máximo de 180 L (Figura 5.9). O difícil

acesso aos dispositivos, e a limitada capacidade de armazenamento exigiu a realização de medições periódicas, com três a cinco dias de intervalo.



Figura 5.9 – Volumes de água do SFC armazenado no dia 25 de agosto de 2019.

A tabela de campo onde é realizado os registos volumétricos, foi criada para o preenchimento dos seguintes parâmetros: N.º da amostra, Hora, Data (dd/mm/aaaa), Udómetro (L) SFC (L) e observações.

O registo do campo é posteriormente processado informaticamente numa folha de cálculo *Ms Excel*, para que haja uma monitorização, diferenciação e análise dos respetivos volumes de precipitação horizontal (nevoeiro), e da precipitação vertical.

É importante manter uma medida de unidade idêntica, e utilizada por toda a comunidade científica (Rubner, 1932). A literatura sobre medições de nevoeiro no último século demonstra a enorme confusão derivada do que foi realmente coletado. Acontece, que os dados são frequentemente expressos em termos de

um valor convertido em profundidade, a quando do uso do pluviômetro em determinado país em determinado momento. No entanto, essa profundidade está dependente, por sua vez, da configuração e tamanho da parte vertical do coletor, e do tamanho da abertura do pluviômetro. Por vezes os resultados foram expressos em termos da profundidade da água nos fios do coletor ou na área de superfície curva do coletor.

A dúvida criada na terminologia poderá causar alguma confusão sobre o que poderia ter sido coletado na área transversal vertical do coletor. Admite-se que à saída do coletor de nevoeiro padrão se utilize a unidade litros de água, para área de superfície o metro quadrado, contabilizando assim as medições em litros por metro quadrado. Todavia, acrescenta-se à recomendação, a unidade de tempo (dia), perfazendo valores com unidades de litro por metro quadrado por dia.

A eficiência com que uma malha tridimensional é variável relativamente à captura das gotículas de nevoeiro (Schemenauer & Joe 1989), especialmente se utilizada em condições de vento forte, em que a malha pode adquirir uma série de formas côncavas ditadas pela natureza da estrutura e dos cabos de suporte.

A eficiência real associada à coleta de precipitação oculta num fio de 1 mm de largura, como usado no SFC, varia entre os 70% a 95% para velocidades de vento de 2 a 8 m/s, e diâmetros de gotículas de 11 a 15 μm (Langmuir & Blodgett 1946). A eficiência aumenta na presença de velocidades de vento mais altas, e com gotas de maior dimensão. O recorte quadrático da malha de rede, e a utilização de uma dupla camada na mesma, tem uma eficiência de 66% no centro do coletor de nevoeiro (Schemenauer & Joe, 1989). Esta eficiência no centro deve-se à deformação que a malha sofre aquando das resistências ao vento.

O exemplo do dispositivo SFC instalado na Bica da Cana (ilha da Madeira), por Prada (2000), e que seguiu a proposta de Schemenauer & Cereceda (1994), tem as mesmas características que o SFC instalado para este estudo.

Na presença de nevoeiro o SFC capta, para além da água proveniente do nevoeiro, a água da chuva, numa proporção difícil de estabelecer uma vez que a percentagem da chuva retida na rede aumenta proporcionalmente à velocidade

do vento (Prada, 2000). Neste contexto, Prada (2000), tal como outros autores, opta por ao valor total registado pelo SFC, e que corresponde, em parte, à chuva e em parte ao nevoeiro, retirar integralmente o valor correspondente à chuva, ou seja, ao valor registado pelo udógrafo. Este procedimento permite que o valor final apurado corresponde apenas à precipitação oculta, porque a água da chuva retida pela rede vertical terá sempre valores inferiores ou iguais (igual só em caso de ventos muito fortes) ao volume do udógrafo.

Reunindo os métodos de cálculo volumétrico de Rubner (1932), Schemenauer & Joe (1989) e Prada (2000), incorporaram-se numa folha de cálculo todas as fórmulas matemáticas necessárias para o processamento das medições, quer do volume de água da precipitação vertical, quer horizontal (Tabela 5.3)

Tabela 5.3 – Fórmulas para diferenciação de precipitação oculta e precipitação vertical.

Variáveis	Unidades	Descrição
A	L	Volume udómetro
B	L	Volume SFC
C	m ²	Abertura na boca do funil
D	m ²	Área da caleira
E	m ²	Área da rede
F= A/C	mm	Volume da precipitação vertical
G= F*D	L	Volume de precipitação vertical na caleira
H=B*0,04	L	Erro de medição
I= G+H	L	Volume do erro medição + volume da caleira
J =(B-I)/E	mm	Volume de precipitação oculta
K=F_i+F_(i-1)	mm	Volume acumulado de precipitação da vertical
L=K_i+K_(i-1)	mm	Volume acumulado de precipitação oculta
M=L/K	-	Evolução de precipitação horizontal em relação à precipitação da vertical

Por fim, após um tratamento, diferenciação de volumes e análise cuidada de toda a informação, é possível compreender o comportamento evolutivo da precipitação oculta e precipitação vertical, calcular o contributo hídrico da precipitação oculta no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, e perceber a verdadeira potencialidade deste recurso natural, em estações de seca, ou em caso de necessidade hídrica.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. RESULTADOS OBTIDOS MENSALMENTE

O volume mensal resume-se a uma distribuição temporal de volumes hídricos acumulados quer da precipitação vertical, quer da precipitação horizontal (precipitação oculta). No entanto, estes volumes não estão concentrados apenas num específico e reduzido período, verificando-se a presença de ambos os volumes durante os oito meses de medição (Fig. 6.1).

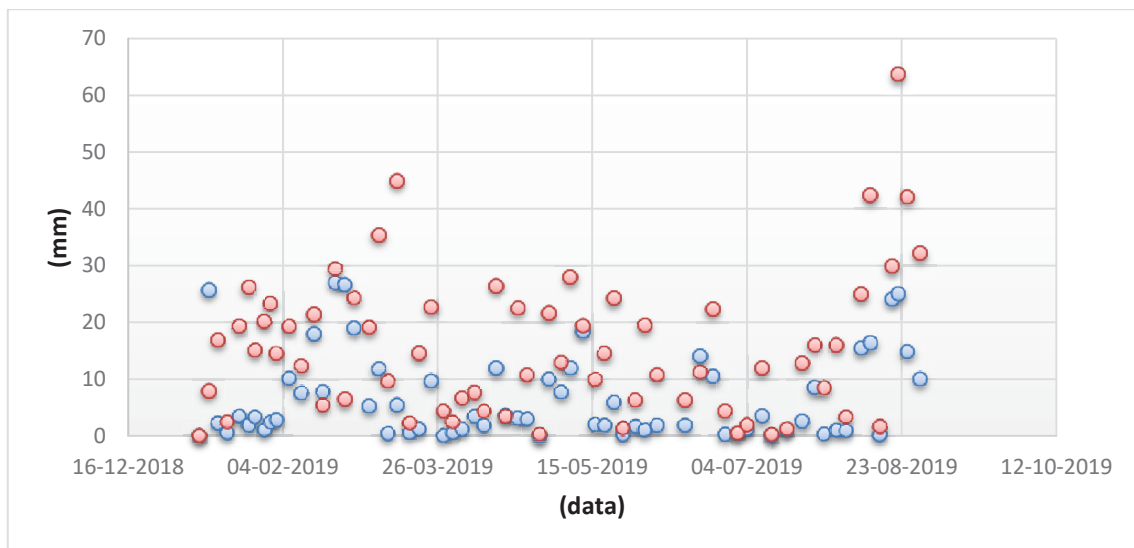


Figura 6.1 – Distribuição temporal dos volumes de precipitação vertical, segundo as medições realizadas no dispositivo udómetro (azul) e, precipitação oculta segundo medições realizadas no SFC (vermelho).

Considera-se julho como o mês mais seco ao longo do presente estudo, devido aos baixos volumes de precipitação vertical (78 mm) e de 289 mm de precipitação oculta. No caso do valor máximo de precipitação vertical, o acumulado é de 437 mm e decorreu no mês de fevereiro. Este mês representa 28% do acumulado neste estudo. Surpreendentemente o volume máximo acumulado de precipitação oculta registou-se durante o mês de agosto, volume atípico para uma estação de Verão (768 mm). O somatório do volume acumulado de precipitação vertical no mês de agosto e fevereiro, resulta num contributo hídrico de 51%, enquanto para a precipitação oculta, a possibilidade de

ultrapassar metade do contributo hídrico neste estudo só ocorre entre janeiro e maio (62%) (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 – Volume mensal acumulado de precipitação vertical e da precipitação horizontal, e respetiva percentagem mensal.

Meses	Precipitação vertical (mm)	Precipitação horizontal (mm)	Precipitação vertical (%)	Precipitação horizontal (%)
janeiro	125	403	8	11
fevereiro	437	533	28	15
março	102	457	7	13
abril	129	348	8	10
maio	182	456	12	13
junho	138	264	9	8
julho	78	289	5	8
agosto	360	768	23	22
Total acumulado	1 551	3 519	100	100

A variação do volume de água registado, quer de precipitação horizontal, quer de precipitação vertical, está patente na Figuras 6.2.

A recolha de dados ocorreu em mais de 90% das medições com um intervalo de tempo de três a quatro dias (Fig. 6.2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

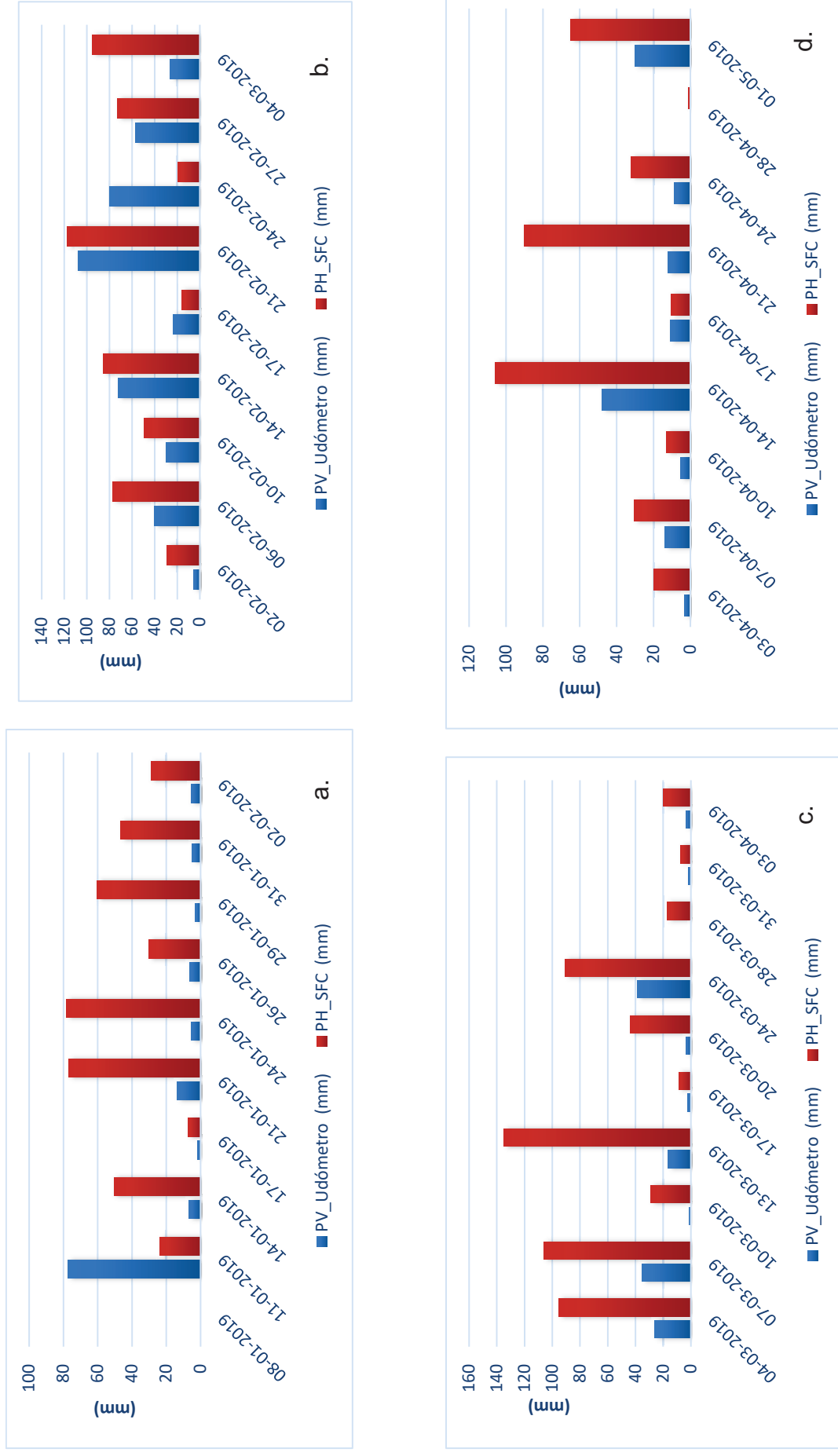


Figura 6.2 – Amostras recolhidas para cada um dos meses: (a) janeiro; (b) fevereiro; (c) março; (d) abril (continua).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

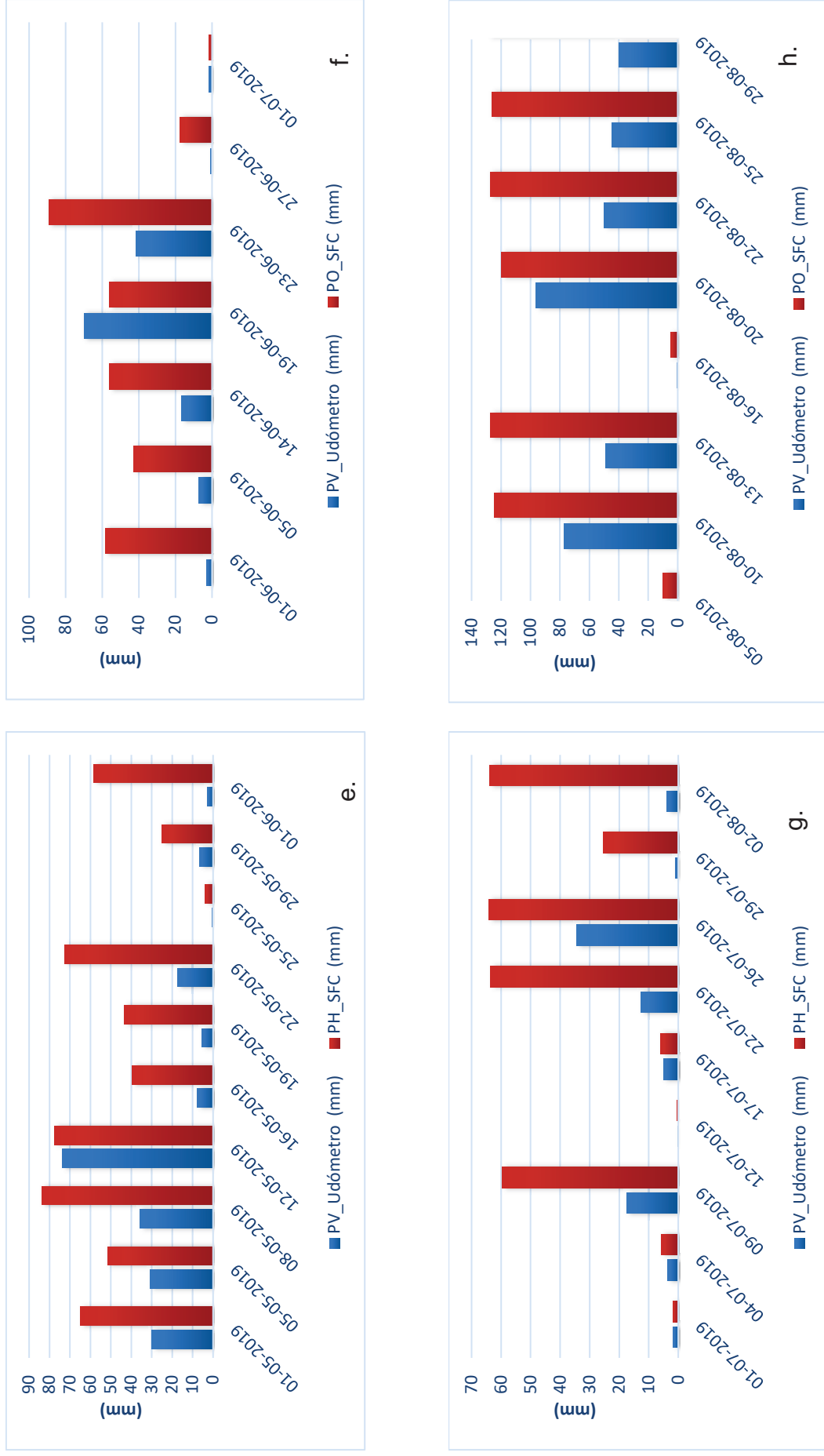


Figura 6.2 – Amostras recolhidas para cada um dos meses: (e) maio; (f) junho; (g) julho; (h) agosto (continuação).

6.2. RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO OCULTA E O VENTO

Ambos os dispositivos instalados, quer o udómetro, quer o captador, estão expostos, entre outros fatores, à direção do vento, às suas rajadas máximas, e por último à velocidade do vento. Recorrendo aos valores da estação meteorológica das Empadadas/Carvão, disponibilizados pela Rede Hidrometeorológica dos Açores, é possível compreender o tipo de comportamento do vento durante o estudo (Tabela 6.2) (RHA, 2019)

Tabela 6.2 – Valores mensais do vento registados na estação das Empadadas/Carvão.

Mês	Média de rajadas máximas (km/h)	Rajadas máximas (km/h)	Média velocidade do vento (km/h)
janeiro	22,4	65	8,7
fevereiro	23,7	72	8,1
março	19,7	74	7,8
abril	25,6	77	10,0
maio	17,0	55	5,7
junho	28,2	58	6,6
julho	13,9	48	4,6
agosto	14,7	53	4,9

Destaca-se que o mês de junho foi atípico, porque registou a média de rajadas máximas mais elevada (28,2 km/h). Esta média pode ser considerada alta para a estação do ano que este mês representa. Os três meses da Primavera são aqueles que se destacam no que respeita a rajadas máximas, por registarem valores superiores a 70 km/h. No entanto, o mês de abril caracteriza-se por ser o mais ventoso de todos, pois não só registou o valor mais alto de rajada máxima (77 km/h), como também 10 km/h para a velocidade média do vento.

A relação entre o vento e a precipitação oculta pode ser estabelecida pelo volume da precipitação oculta e pela média da velocidade do vento (Tabela 6.3). Esta relação é inversamente proporcional, ou seja, quando há um incremento brusco da média de velocidade do vento, o volume da precipitação oculta diminui, e vice-versa. Quer os valores médios de velocidade do vento, abaixo de 8,1 km/h, e das rajadas máximas menor que 25 km/h), enquadram-se ambos nos valores da literatura Langmuir & Blodgett, (1946), que referenciam uma elevada rentabilidade na captura de nevoeiros para velocidades de vento compreendidas entre 7 e 29 km/h.

Tabela 6.3 – Valores mensais para as variáveis do vento (rajadas e velocidade), e volume acumulado de precipitação oculta.

Meses	Média de rajadas máximas (km/h)	Rajadas máximas (km/h)	Média da velocidade do vento (km/h)	PO (mm)
Janeiro	22	65	9	403
Fevereiro	24	72	8	533
Março	20	74	8	457
Abril	26	77	10	348
Maio	17	55	6	456
Junho	28	58	7	264
Julho	14	48	5	289
Agosto	15	53	5	768

Os comunicados meteorológicos do Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA) são emitidos para alertar as populações do agravamento do estado do tempo, sendo eles, do nível mais baixo para o nível mais alto: aviso amarelo, laranja e vermelho. Estes alertas correspondem ao aumento do agravamento do estado do tempo para o vento, chuva, trovoadas e agitação marítima. Neste estudo apenas foram selecionados os parâmetros do vento e da precipitação

(chuva), resultando na construção de uma tabela com vinte e nove alertas para o grupo oriental do arquipélago dos Açores (CIVISA, 2019) (Tabela 6.4). O aviso laranja foi o nível mais grave que ocorreu durante o período de estudo. Este alerta foi comunicado por duas vezes, uma para a precipitação (chuva) e outra para o vento. Os restantes vinte e sete alertas foram todos do nível amarelo. O mês de fevereiro destacou-se dos restantes meses por se terem contabilizado o maior número de alertas (sete), dos quais quatro foram alertas de precipitação (chuva) e três de vento. Os meses de julho e agosto, corresponderam ao período de tempo no qual os avisos meteorológicos foram exclusivamente para a precipitação, não registando assim qualquer aviso para o vento.

No que se refere ao mês de fevereiro, e à análise dos parâmetros descritos anteriormente, este desperta para uma possível relação entre o elevado volume de precipitação oculta e o número de alertas durante o referido mês, no entanto, este é um assunto que necessita de um maior aprofundamento.

Tabela 6.4 – Avisos meteorológicos para o grupo oriental do arquipélago dos Açores (CIVISA, 2019).

Cor	Aviso	Início	Fim
Laranja	Precipitação	10-01-2019	10-01-2019
Amarelo	Precipitação	10-01-2019	11-01-2019
Amarelo	Precipitação	13-01-2019	14-01-2019
Amarelo	Vento	13-01-2019	14-01-2019
Amarelo	Precipitação (Júlia)	20-02-2019	21-02-2019
Laranja	Vento (Júlia)	20-02-2019	20-02-2019
Amarelo	Vento (Júlia)	20-02-2019	20-02-2019
Amarelo	Precipitação (Júlia)	21-02-2019	22-02-2019
Amarelo	Precipitação	23-02-2019	23-02-2019
Amarelo	Vento (Kyllian)	24-02-2019	25-02-2019

Amarelo	Precipitação (Killian)	24-02-2019	25-02-2019
Amarelo	Precipitação	05-03-2019	05-03-2019
Amarelo	Vento	05-03-2019	05-03-2019
Amarelo	Vento	23-03-2019	24-03-2019
Amarelo	Precipitação	23-03-2019	24-03-2019
Amarelo	Vento	15-04-2019	16-04-2019
Amarelo	Precipitação	15-04-2019	16-04-2019
Amarelo	Precipitação	04-05-2019	04-05-2019
Amarelo	Precipitação	09-05-2019	09-05-2019
Amarelo	Precipitação	12-05-2019	12-05-2019
Amarelo	Vento	12-05-2019	12-05-2019
Amarelo	Precipitação	16-06-2019	17-06-2019
Amarelo	Vento	16-06-2019	17-06-2019
Amarelo	Precipitação	21-06-2019	21-06-2019
Amarelo	Precipitação	08-07-2019	08-07-2019
Amarelo	Precipitação	22-07-2019	22-07-2019
Amarelo	Precipitação	06-08-2019	06-08-2019
Amarelo	Precipitação	11-08-2019	11-08-2019
Amarelo	Precipitação	18-08-2019	19-08-2019

6.3. COMPARAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO HORIZONTAL E PRECIPITAÇÃO VERTICAL

O comportamento evolutivo dos volumes acumulados de precipitação horizontal e de precipitação vertical, foi projetado para todo o período de estudo e ambos os volumes aumentam progressivamente com o tempo (Fig. 6.3).

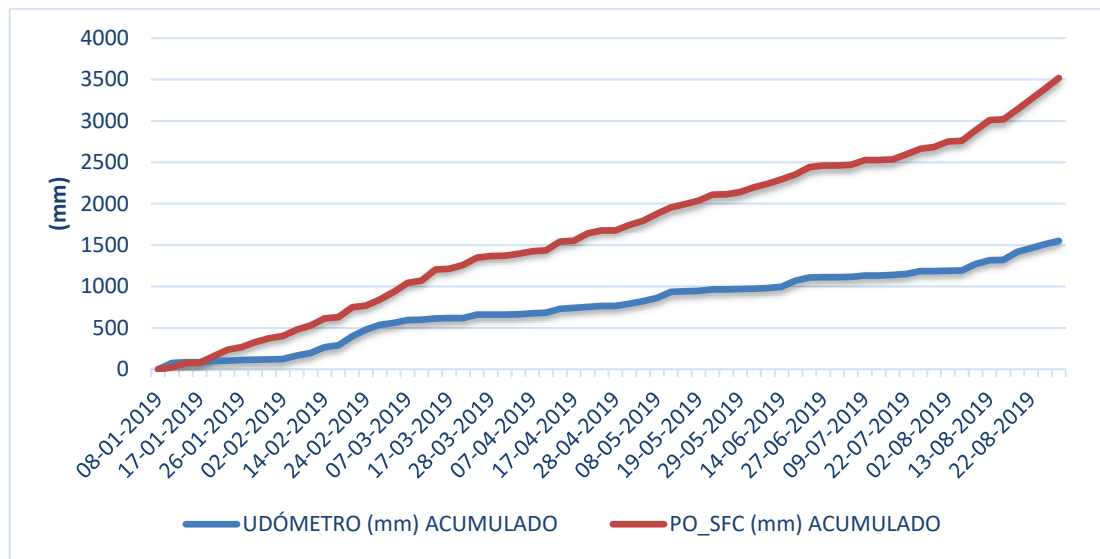


Tabela 6.3 – Comportamento do volume acumulado no udómetro (pluviosidade) e no SFC (precipitação oculta) ao longo deste estudo.

No período entre 14 e 21 de janeiro de 2019 o volume acumulado de precipitação vertical é superior ao volume de precipitação horizontal. A partir desta data, o comportamento tornou-se inverso, sendo que o volume acumulado de precipitação horizontal teve um incremento entre 2 a 2,5 vezes superior ao volume acumulado de precipitação da chuva. O máximo de precipitação horizontal atinge uma unidade de grandeza 3,25 vezes superior ao volume acumulado de precipitação vertical no dia 6 de fevereiro de 2019 (Fig.6.4). Segundo Prada (2000), na ilha da Madeira também se obtiveram resultados semelhantes para a precipitação horizontal com o SFC (5 001 L/m²/ano), demonstrando assim valores três vezes e meia superior ao valor da precipitação vertical média anual. Os resultados de precipitação oculta na ilha da Madeira são semelhantes aos obtidos na ilha de São Miguel, no entanto, é importante referir a ausência de quatro meses de observações no Caldeirão Grande (outubro a dezembro).

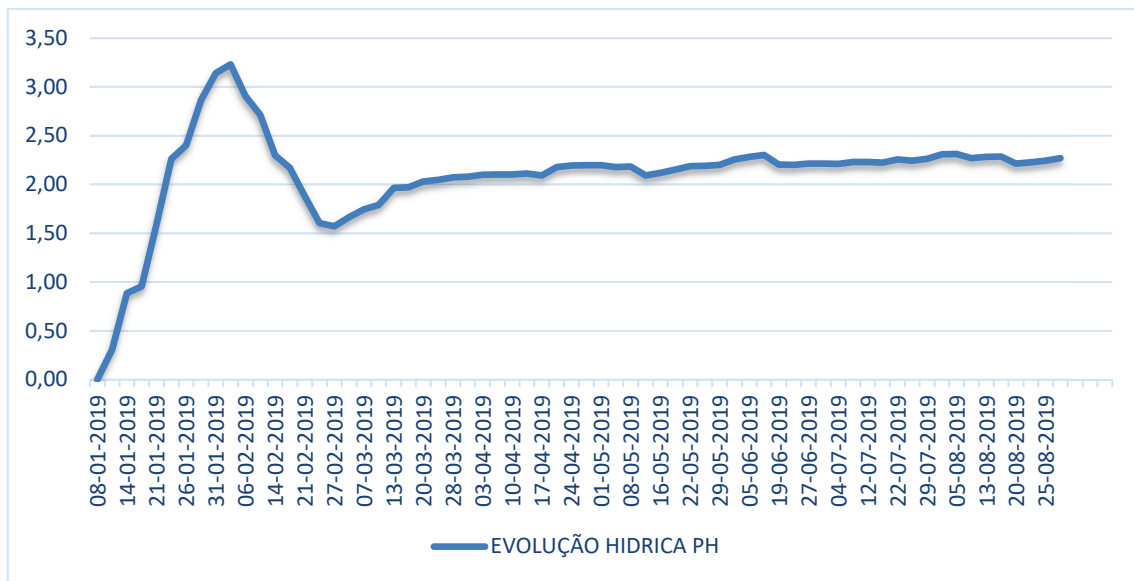


Figura 6.4 – Evolução da precipitação horizontal em relação à precipitação vertical.

6.4. ESTUDOS COMPARATIVOS

Os valores determinados neste estudo, são comparáveis com os resultados de outros estudos realizados em diferentes países do mundo (Tabela 6.4). Analisando todos os projetos descritos na tabela, verifica-se uma produção média anual igual ou superior a 3 L/m²/dia. Os estudos desenvolvidos na ilha da Madeira (Prada, 2000), apesar de terem entre si diferenças, em termos de condições climáticas são os que mais se assemelham, de uma forma genérica, ao arquipélago dos Açores. No que respeita à produção média diária da estação do Caldeirão Grande, registou valores intermédios relativamente aos medidos por Prada (2000). Estas diferenças possivelmente, devem-se a quatro fatores: 1) o período no qual os dois estudos decorreram, 2) diferenças do gradiente de elevação e, 3) características fisiográficas do local da estação do SFC e, 4) a exposição do relevo.

Tabela 6.5 - Dados comparativos de outros projetos desenvolvidos com o mesmo SFC.

Local	Produção média diária (L/m ² /d)	Dias por ano	Produção Anual (L/m ² /ano)	Altitude (m)	Fonte (bibliografia)
Chile	3,0	365	1095	?	Cereceda & Schemenauer (1996)
Peru	9,0	210	1890	?	Cereceda & Schemenauer (1996)
Omã	30,0	75	2250	?	Cereceda & Schemenauer (1996)
Equador	12,0	365	4380	?	Cereceda & Schemenauer (1996)
Madeira (Bica da Cana)	21,3	234,8	5001	1560	Prada (2000)
Madeira (Chão das Feteiras)	6,1	456	2782	1183	Prada (2000)
Açores (Caldeirão Grande)	13,5	233	3519	740	Presente Estudo

Apesar de tudo, mesmo estando o SFC da estação do Caldeirão Grande a uma cota de 740 metros, verifica-se que os valores de produção média diária são superiores em 7,4 L/m²/dia aos da estação da Chão das Feteiras, na ilha da Madeira.

6.5. ERRO DE MEDIÇÃO

O erro de medição segundo Prada (2000), representa 4% da amostra recolhida no SFC, e está associado à área do aro metálico. Assim, o erro de medição depende diretamente do volume recolhido no próprio dispositivo, o que significa que quanto maior o volume registado no SFC, maior o volume do erro de medição. No mês de agosto e por seis vezes sucessivas, o erro de medição foi superior a 5,5 litros. Nos sete meses anteriores, o volume associado ao erro de medição do SFC deteve um comportamento normal, pois variou pontualmente entre o mínimo de 0,3 litros e o máximo de 5,72 litros (Fig. 6.5).

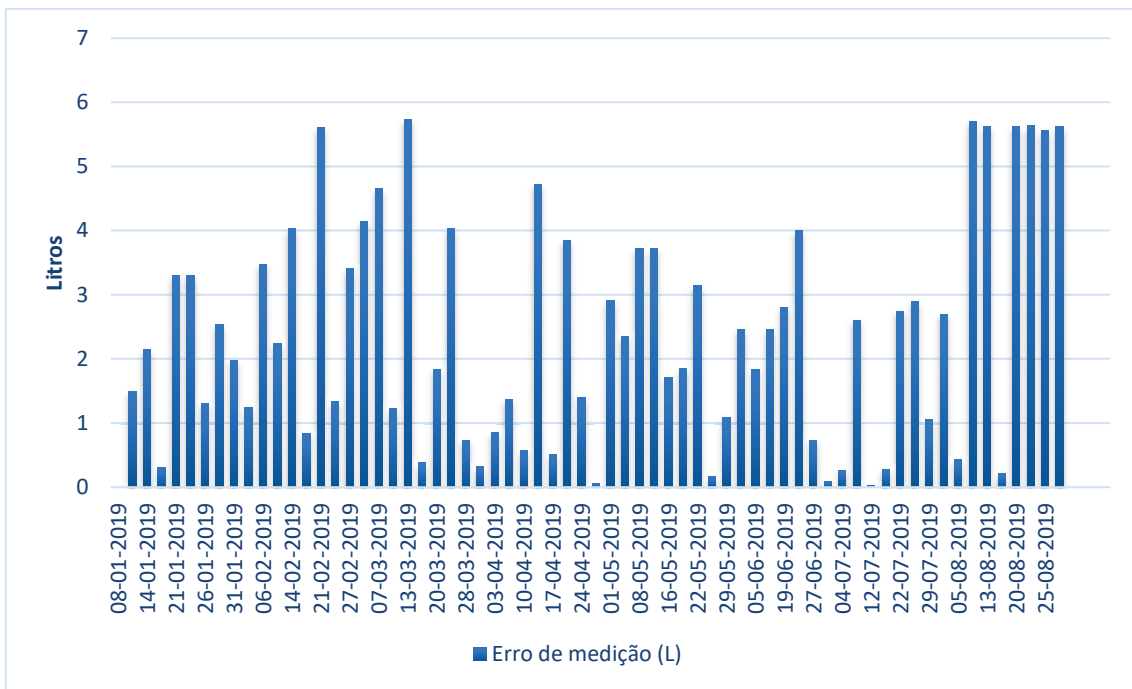


Figura 6.5 – Volume da amostra associado ao erro de medição do SFC.

7. CONCLUSÕES

Com realização deste estudo na bacia hidrográfica do Caldeirão Grande, pretendeu-se demonstrar o potencial da precipitação oculta. A instalação do dispositivo *Standard Fog Collector* na cumeeira da bacia, para além de possibilitar a comparação de dados com outros estudos, possibilita relacionar a componente da chuva, vento e precipitação vertical com os volumes de precipitação oculta.

Ao longo do período de tempo em que decorreu o estudo, os valores de precipitação vertical totalizaram 1 551 mm, enquanto a precipitação oculta correspondeu a 3 519 mm.

O regime da precipitação vertical, responde por 51% do volume total de precipitação observado nos meses de fevereiro e agosto. Relativamente ao regime associado à precipitação oculta, observa-se uma distribuição heterogénea, sendo necessário um período de cinco meses (entre janeiro e maio) para que a mesma possa explicar mais de 50% de todo o volume de precipitação acumulado.

Está implícito no presente estudo, que as condições climáticas observadas em bacias hidrográficas acima dos 600 metros de altitude, a velocidade média do vento quando inferior a 8,1 km/h, e a ocorrência de rajadas máximas cuja média seja inferior a 25 km/h, apresentam maior potencial para a captação de nevoeiros. Foi possível, ainda, constatar que se obtêm rentabilidades elevadas na captura de nevoeiros para velocidades de vento compreendidas entre 7 e 29 km/h, conforme descrito na literatura.

No estudo desenvolvido por Bettencourt (1979), observa-se que a média de dias com nevoeiro em Ponta Delgada é alta em junho (0,8), e baixa em agosto (0,0). Os dados obtidos por este autor, não se refletem nos volumes de precipitação oculta, obtidos no presente estudo, 264 mm e 768 mm, respetivamente. Concluiu-se então que os designados nevoeiros de São João, que se formam no mês de

junho, não tiveram influência significativa nos volumes de precipitação oculta do Caldeirão Grande.

O contributo da precipitação horizontal no balanço hídrico das bacias hidrográficas de altitude não se encontra, na sua generalidade, representado nos modelos conceptuais aplicados. Neste contexto, propõe-se um modelo conceptual à realidade fisiográfica e hidrológica da bacia hidrográfica do Caldeirão Grande (Fig. 7.1):

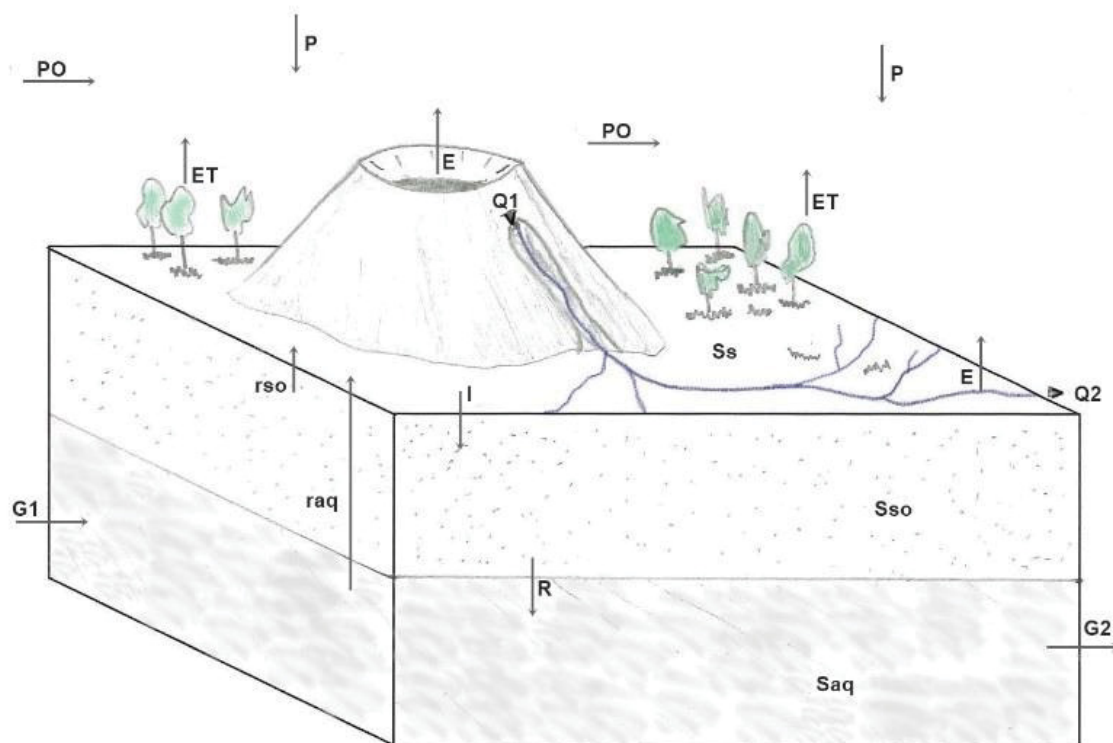


Figura 7.1 – Representação conceptual do balanço hídrico com introdução da variável precipitação oculta. (legenda da figura: P precipitação; PO precipitação oculta; Q1, Q2 escoamento superficial que entra e sai da região; G1, G2 escoamento subterrâneo que entra e sai da região; E evaporação a partir de águas superficiais; ET evaporação do solo e transpiração das plantas; rso, raq água do solo e água subterrânea que reaparecem à superfície (ressurgências); I infiltração (no solo); R recarga (percolação para os aquíferos); Ss, Sso, Saq retenção e detenção superficiais, armazenamento na camada superficial do solo, armazenamento no aquífero (água subterrânea) (adaptado de Hipólito & Vaz, 2013).

A introdução da variável precipitação oculta na equação do balanço hídrico, representa uma nova entrada de volumes de água. Contudo, o desenvolvimento de sistemas de captação de nevoeiro implica construir uma superfície vertical e que se oponha aos nevoeiros. A área da superfície vertical para uma extensão

de cumeeira de 1,5 km por um metro de altura, revela-se bastante inferior quando comparado com a área de precipitação vertical (área da bacia). No entanto os valores de rentabilidade (L/m^2) da precipitação oculta são mais elevados do que a precipitação vertical, chegando a acumular em certo período do estudo o triplo do volume.

Os valores apresentados neste estudo sobre a precipitação oculta, são coerentes e fiáveis, quando comparados com outros estudos com o mesmo SFC. O caso dos dois estudos desenvolvidos na ilha da Madeira por Prada (2000), apresentam entre si diferenças na produção média diária de precipitação oculta, no entanto, as condições climatéricas de forma genérica assemelham-se mais ao arquipélago dos Açores, verificando-se valores intermédios para o Caldeirão Grande relativamente aos medidos por Prada (2000).

A recolha de dados efetuada ao longo do presente estudo, contribuiu para preencher a lacuna existente sobre a ocorrência de precipitação oculta em bacias hidrográficas de altitude dos Açores. Porém, admite-se a necessidade de efetuar mais estudos sobre a precipitação oculta, nomeadamente com a obtenção de um número maior de observações, ao longo de um período de tempo mais alargado, por forma a não só quantificar com maior rigor o potencial e contributo da precipitação oculta numa bacia hidrográfica, como aprofundar o conhecimento relativo a uma temática atualmente muito pouco explorada na Região Autónoma dos Açores.

8. BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, E. (1996) - Modelação do Clima Insular à Escala Local. Modelo CIELO aplicado à ilha Terceira. Tese de Doutoramento, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- AZEVEDO, E. (1998) - Geologia e Hidrologia da ilha das Flores. Dissertação para obtenção de grau de Doutor em Geologia, D.C.T., Universidade de Coimbra, Coimbra, 2 vol. coimbr, 403 p.
- AZEVEDO, E. (2001) - Condicionantes Dinâmicas do Clima do Arquipélago dos Açores. Elementos para o seu Estudo. Açoreana, IX, pp. 309 - 317.
- AZEVEDO, E. (2002) - Projecto de remodelação da Central Geotérmica do Pico Vermelho (CGPV). Estudo de Impacto Ambiental. Factores Climáticos, Angra do Heroísmo, p 13.
- BALADÓN, A. (1995) - Precipitações Ocultas e sua Utilização na Agricultura. WMO, Roma, 161 p.
- BETTENCOURT, M. (1979) - O clima de Portugal. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- BRUIJNZEEL, L., & PROCTOR, J. (1995) - Hydrology and biochemistry of tropical montane cloud forests: What do we really know?, A Reassessment. In: L.S. Hamilton, J.O. Juvik & F.N. Scatena (Eds.), Tropical Montane Cloud Forests. Ecological Studies 110, Springer Verlag, New York, pp. 38-78.
- BRUIJNZEEL, L., EUGSTER, W., & BURKARD, R. (2005) - Fog as a hydrological input. In: Anderson, MG. & McDonnell, J. (Eds.), Encyclopedia of Hydrological Science, Willey, Chichester, pp. 559-581.
- CARMO, R. (2013) - Estudos de neotectónica na ilha de S. Miguel, uma contribuição para o estudo do risco sísmico no arquipélago dos Açores. Tese de doutoramento, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 307 p.
- CERECEDA, P., OSSES, P., LARRAIN, H., FARIAS, M., LAGOS, M., PINTO, R., & SCHEMENAUER, R. (2002) - Advective, orographic and radiation fog in Tarapaca region. Chile, Atmos. Res., 6, pp. 261-271.

- CHAPTAL, L. (1928) - Contribution a l'Étude de la Rosée et Sources Secondaires de l' Humidité du Soil. Anais de Sciences Agronomiques, Paris, pp. 134-154.
- CIVISA (2019) - Comunicados meteorológicos, Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores, <http://www.cvarg.azores.gov.pt/civisa/Paginas/civisa-comunicados-srpcba-meteo.aspx>. (consulta a 9 de outubro de 2019).
- COSTA, A. (2006) - Atlas Hidrológico das Águas Minerais dos Açores. Dissertação de Mestrado, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- CRUZ, J. (2001) - Recursos Subterrâneos. Plano Regional da Água da Região Autónoma dos Açores, Relatório Técnico-Científico 03/DGUA/01, Universidade dos Açores, Ponta Delgada.
- CRUZ, J. (2004) - Ensaio sobre a água subterrânea nos Açores. História, ocorrência e qualidade. Ed. Secretaria Regional do Ambiente, Direcção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos, Ponta Delgada, 288 p.
- CUSTÓDIO, E., & LLAMAS, M. (1983) - Hidrologia subterrânea. Ed. Omega, Barcelona.
- CUNHA, F. (1964) - O problema de captação de água do nevoeiro em Cabo Verde. Garcia de Orta, 12 (4).
- DGRAH, (1984) - Curso Internacional de Hidrologia Operativa - Edição Comemorativa do Centenário dos Serviços Hidráulicos. Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Manual, I e II, Lisboa.
- DGT (2018) - Carta Administrativa Oficial de Portugal, Direcção Geral do Território, http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/caop__download_/(consulta a 19 de junho).
- DIAS, N., MATIAS, L., MADEIRA, J., CARILHO, F., & GASPAS, J. (2007) - Crustal seismic velocity structure near Faial and Pico islands (Azores), from local earthquake tomography Tectonophysics, 445, pp. 301-317.
- DLR (2008) - Parque Natural de Ilha de São Miguel. Região Autónoma dos Açores, <https://www.azores.gov.pt/NR/rdonlyres/C9085584-9590-4351->

88B5-534D80397699/431674/DLR19_2008_A.pdf (consulta a 17 de janeiro de 2019).

DRA (2015) - Plano de Gestão da Rede Hidrográfica dos Açores. Direção Regional do Ambiente, Horta, 2, 698 p.

DROTRH-INAG (2001) - Plano Regional da Água. Relatório Técnico. Direção Regional do Ordenamento do Território e dos Recursos Hídricos e Instituto da Água, Secretaria Regional do Ambiente, Ponta Delgada.

FERNANDES, J. (2004) - Caracterização climática das ilhas de São Miguel e Santa Maria com base no modelo CIELO. Estágio realizado no âmbito e apoio do projecto CLIMAAT, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo, 210 p.

FERREIRA, T. (2000) - Caracterização da actividade vulcânica da ilha de S. Miguel (Açores): Vulcanismo basáltico recente e zonas de desgaseificação. Avaliação de riscos. Dissertação de doutoramento, Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 248 p.

FIGUEIRA, C., PRADA, S., SEQUEIRA, M., PERESTRELO, A., & SILVA, M. (2006) - Estudo da precipitação oculta em dois tipos de vegetação da ilha da Madeira. Atas do 8º Congresso da Água, Figueira da Foz, 179 p.

FRIEDLANDER, I. (1929) - Os Açores (trad. J. Agostinho). Açoreana, 1, pp. 39-58.

GENTE, P., DYMENT, J., MAIA, M., & GOSLIN, J. (2003) - Interaction between the Mid-Atlantic Ridge and the Azores hot spot during the last 85 Myr: Emplacement and rifting of the hot spot-derived plateaus. *Geochem. Geophys. Geosyste*, 4(10), 8514, doi:10.1029/2003GC000527.

GLICKMAN, T. (2000) - Glossary of Meteorology Society. American Meteorological Society, Boston, 2ª edição, 855 p

HIDROPROJECTO. (2003) - Projecto de Execução do Sistema Integrado de Abastecimento de Água à Pecuária no Perímetro de Ordenamento Agrário da Bacia Leiteira de Ponta Delgada, Lisboa, 241 p.

HIPÓLITO, J., & VAZ, Á. (2013) - Hidrologia e Recursos Hídricos. IST Press, Lisboa, 2ª edição, 796 p.

- INGRAHAM, L., & MATTHEWS, A. (1988) - Fog drip as a source of ground water recharge in northern Kenya. American Geophysical Union, Water Resources Research, Washington D.C: 24, doi: 1029/88WR00089
- INVERSE (2019) - How war Yemen is crating water from fog. <https://www.inverse.com/article/11574-how-war-torn-yemen-is-creating-water-from-fog> (consulta a 15 de fevereiro).
- LANGMUIR, I., & BLODGETT, B. (1946) - A mathematical investigation of water droplet trajectories. Army Air Force Tech Rep, Washington, 68 pp.
- LAUGHTON, A., BERGGREN, W., BENSON, R., DAVIES, T., FRANZ, A., MUSICH, L., PERCH-NIELSEN, K., RUFFMAN, A., VAN HINTEN, J., & WITHMARSH, R. (1972) - Annotated record of the detailed examination of Mn deposits from DSDP, Pangea, 3111A-12.
- LOURENÇO, N. (2007) - Tectono-magmatic processes at Azores triple junction. - Dissertação de Doutoramento, Faculdade Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve, Faro, 239p.
- LOURENÇO, N., MIRANDA, J., LUÍS, J., RIBEIRO, A., MENDES-VICTOR, L., MADEIRA, J., & NEEDHAM, H. (1998) - Morphotectonic analysis of the Azores Volcanic Plateau from a new bathymetric compilation of the area. Marine Geophys. Res., 20, pp. 141-156.
- LUIS, J., MIRANDA, J., GALDEANO, A., PATRIAT, P., ROSSIGNOL, J., & MENDES-VICTOR, L. (1994) - The Azores triple junction evolution since 10 Ma from an aeromagnetic survey of the Mid-Atlantic Ridge. Earth Planet Science Letter, 25, pp 439-459.
- MADEIRA, J. (1998). Estudos da neotectónica nas ilhas do Faial, Pico e São Jorge: uma contribuição para o conhecimento da junção tripla dos Açores. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, 481 p.
- MADUREIRA, P., MOREIRA, P., MATA, J., & ALLEGRE, J. (2005) - Primitive helium and neon isotopes in Terceira island (Azores archipelago). Earth Planet. Science Letter, 23, 429-440.
- MET OFFICE (2019) - What are the different types of fog, <https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/fog/types-of-fog> (consulta a 5 de junho de 2019).
- MOORE, R. (1991) - Geology of three late Quaternary stratovolcanoes on São Miguel, Azores. U.S. Geol. Survey Bulletin, 1900, 1-26.

- MOORE, R. & RUBIN, (1991) - Radiocarbon dates for lava flows and phyroclastic deposits on São Miguel, Azores. *Radiocarbon*, 33(1), pp. 151-164pp.
- NAGEL, J. (1956) - Fog Precipitation on Table Mountain. *Quaterly Royal Met Society .Journal of Royal Meteorological. Water Bureau. Pretoria.*
- NEEDHAM, H., & FRANCETEAU, J. (1974) - Some characteristics of the rift valley in the Atlantic Ocean near 36° 48° north. *Earth and Planet Science, Letter*, 22, pp. 29-43.
- PACHECO, J., FERREIRA, T., QUEIROZ, G., WALLENSTEIN, N., COUTINHO, N., CRUZ, J., & GOULART, C. (2013) - Notas sobre a geologia do arquipélago dos Açores. In: Dias, R., Araújo, A. Terrinha, P. & J.C. Kulberg, (Eds.), *Geologia de Portugal*, Escolar Editora, Lisboa, pp. 595 - 690.
- PRADA, S. (2000) - *Geologia e Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira*. Tese de Doutoramento, Universidade da Madeira. Funchal.
- QUEIROZ, M. (1997) - *Vulcão das Sete Cidades (São Miguel, Açores) História Eruptiva e Avaliação do Hazard*, Tese de Doutoramento, Universidades dos Açores, Ponta Delgada.
- REGO, A. (2014) - *A Ilha e o Verbo*. Inst. Miss. Filhas de São Paulo, ed. Paulinas, Loures.
- RHA, (2019) - Rede Hidrometeorológica dos Açores. <http://portal-sraa.azores.gov.pt/rhma/#> (consulta a 30 de agosto de 2019)
- RMETS (2019) - Clouds names and cloud classification. <https://www.rmets.org/resources/all> (consulta a 18 de abril de 2019).
- RUBNER, K. (1932) - Der Nebekniedererschlag im Wald und seine Mesung. *Tharandter Forstle. Jahrb.*, 83, pp. 121-149.
- REUTERS (2018) - The fog catchers conjuring water out of marroccan mist. <https://www.reuters.com/article/us-morocco-fog-water-feature/the-fog-catchers-conjuring-water-out-of-moroccan-mist-idUSKCN1II01M> (consulta a 14 de março de 2019).
- SAA, R., & VALDEZ, M. (1963) - *Captación de Agua de la Neblina*. Universidade. do Norte-Antofagasta. Chile.
- SAMPAIO, J., MADRUGA, J., & PINHEIRO (1987) - *Carta do Uso dos Solos - São Miguel - Açores*. Gabinete de Solos, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.

- SCHÄFER, H. (2002) - Flora of the Azores. Margraf Publishers, A Field guide Verlag Weikersheim, 346 p.
- SCHEMENAUER, R., & CERECEDA, P. (1994) - A Proposes Standard Fog Collector for use in High- Elevation Regions. J. Appl. Meteorol., 33, pp. 1313-1322.
- SCHEMENAUER, R. S., & JOE, P. (1989) - The collection efficiency of massive fog collector. Atmospheric Research, 24, pp.53-69.
- SCHILLING, J. (1975) - Azores mantle blob:rare-earth evidence. Earth Plan. Sci. Lett., 25, pp. 103-115.
- SCHOLL, M., GINGERICH, S., & TRIBBLE G. (2002). The influence of microclimates and fog on stable isotope signatures used interpretation of Regional Hydrology East, Hawaii. Journal of Hydrology 264: pp 170-184
- SEARLE, R. (1980) - Tectonics pattern of the Azores spreading center ant triple junction. Earth and Planet. Sci. Letters, 51, pp 415-434.
- SREA (2017) - Estimativas da população residente. https://srea.azores.gov.pt/conteudos/Relatorios/lista_relatorios.aspx?idc=29&idsc=1115&lang_id=1 (consulta a 20 de outubro de 2019).
- SREA (2019) - Recenseamento Agrícola. <http://estatistica.azores.gov.pt/upl/%7B5db530fa-11be-4285-8f5c-17584b1540a4%7D.htm> (consulta a 20 de outubro de 2019).
- SILVEIRA, G., STUTZMANN, E., DAVAILLE, A., MONTAGNER, J.-P., MENDES-VICTOR, L., & SEBAI, A. (2006) - Azores hotspot signature in the upper mantle. J. Volcanol. Geotherm. Res., 156, pp. 23-34.
- WANNER, H., & KUNZ, S., (1983) - Climatology of fog and cold air layers in the swiss prealpine basins using weather satellite pictures. Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology Series B, 33, pp. 31-56, doi:10.1007/BF02273989.
- WILLIS, I. (2005) - Hydrology of glacierized basins. In: Anderson, MG. & McDonnell, J. (Eds.), Encyclopedia of Hydrological Science, Willey, Chichester, pp 2601-2631.
- ZBYSZEWSKI, G. (1959) - Alguns casos práticos da utilidade da geologia no estudo da ilha de S. Miguel (Açores). Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, VIII, pp. 3-22.

UNIVERSIDADE DOS AÇORES
Faculdade de Ciências e Tecnologia

Rua da Mãe de Deus
9500-321 Ponta Delgada
Açores, Portugal