



Universidade dos Açores

Departamento de Ciências Agrárias

Mestrado de Engenharia e Gestão de Sistemas de Água

Ano Lectivo 2012/2013

**Avaliação de Fluoretos na Água de Consumo do  
Concelho da Praia da Vitória (ilha Terceira, Açores) e  
suas Consequências a Nível da Saúde Pública**

Trabalho realizado por:

Soraia Costa

Outubro de 2013



Universidade dos Açores

Departamento de Ciências Agrárias

Mestrado de Engenharia e Gestão de Sistemas de Água

Ano Lectivo 2012/2013

Avaliação de Fluoretos na Água de Consumo do Concelho da Praia da Vitória  
(ilha Terceira, Açores) e suas Consequências a Nível da Saúde Pública

Orientadora: Professora Doutora Sílvia Alexandra Bettencourt de Sousa Quadros

Co-orientador: Professor Doutor Francisco Cota Rodrigues

Trabalho realizado por:

Soraia Costa

Outubro de 2013



## Resumo

Em algumas freguesias do concelho da Praia da Vitória, o teor de fluoretos na água de consumo ultrapassa o valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto. Este valor é igualmente ultrapassado em quatro das nascentes (Frechas, Burra, Gaitero, Gaitero e Rolo dos Moinhos) que fornecem água para grande parte das zonas de abastecimento do concelho, incluindo essas mesmas freguesias. Foi feito um estudo da variação de fluoretos na água destas nascentes para um período de tempo de 5 anos (2008-2012), acompanhado pelo enquadramento geológico das mesmas e distribuição geográfica consoante o seu teor médio de fluoreto. A influência da precipitação foi avaliada pela comparação entre o teor de fluoreto na água e a precipitação observada, tendo também em conta um tempo de residência hidráulico dos aquíferos, onde se concluiu que o teor de fluoreto nas nascentes é influenciado por um tempo de residência hidráulico de dois a três meses, valor ligeiramente superior a um e dois meses, considerado típico para os Açores. Foram ainda avaliadas as consequências na saúde pública devido à ingestão de um teor de fluoretos acima do valor paramétrico de 1,5 mg/L, situação que se verifica nas freguesias da Agualva, Vila Nova e São Brás. Através de um rastreio de fluorose dentária, realizado na Escola Básica Integrada da Praia da Vitória, foram observadas 56 crianças com idades compreendidas entre os 9 e os 12 anos, pertencentes às referidas freguesias. Os resultados deste rastreio revelaram que 25% das crianças observadas apresentam índices de fluorose dentária e que em 25% das crianças a situação é questionável. Na amostra analisada foram observados todos os estágios da fluorose, desde o severo até ao muito suave, com predominância para este último. O índice médio de fluorose na freguesia da Agualva foi de 0,9, o mais elevado das três freguesias em estudo.

Palavras-chave: fluoreto, fluorose dentária, saúde pública, precipitação, litologia.



## Abstract

In some administrative areas of the municipality of Praia da Vitória, the fluoride content in drinking water exceeds its legal recommended value of 1,5 mg/L, established by the ordinance 306/2007 of the 27 of August. A study of the fluoride variation in these springs was conducted for a period of 5 years (2008-2012), accompanied by the geological location of the springs and their geographical distribution according to their average fluoride content. The precipitation influence was evaluated by comparing the fluoride content with the observed precipitation, also considering the hydraulic residence time of the aquifers, where it was concluded that the fluoride content in the springs is influenced by a hydraulic residence time of two to three months, which is slightly higher to one and two months, the typical hydraulic residence time considered in the Azores. It was also evaluated the public health consequences due to the ingestion of high fluoride content, above the legal recommended value of 1,5 mg/L, a situation that is verified in the administrative areas of Agualva, Vila Nova and São Brás. Through a dental fluorosis screening, carried at the Escola Básica Integrada da Praia da Vitória, 56 children were observed, with ages between 9 and 12 years old, all of them belonging to the administrative areas referred to before. The results of this screening revealed that 25% of the observed children presented dental fluorosis and that in 25% of the children the situation is questionable. Within the sample, all of the stages of dental fluorosis were observed, since severe to very mild, with predominance of the latter. The average fluorosis index in the area of Agualva was 0,9, the highest of the three areas studied.

Keywords: Fluoride, dental fluorosis, public health, precipitation, lithology.



## Agradecimentos

À Professora Doutora Sílvia Alexandra Bettencourt de Sousa Quadros, orientadora deste trabalho, por todo o apoio, ajuda, compreensão, sugestões, conselhos e tempo dedicado. Sem todo o seu esforço, este trabalho não teria sido realizado.

Ao Professor Doutor Francisco Cota Rodrigues, co-orientador deste trabalho, pelo seu conhecimento indispensável e apoio em terminar aspectos importantes do trabalho.

À Engenheira Vanda Bettencourt por me ter orientado no caminho a decidir sobre o que fazer neste trabalho, bem como por me ter cedido todas as informações relativas aos fluoretos da água de consumo do concelho da Praia da Vitória apresentadas ao longo do trabalho.

Ao Centro de Saúde da Praia da Vitória, por ter concordado com a realização do rastreio de fluorose dentária e por ter autorizado a participação dos seus profissionais de saúde. Em especial agradeço ao Dr. Daniel Sampaio por toda a simpatia e por todo o trabalho em examinar as crianças, bem como às duas enfermeiras que o acompanharam. Agradeço também à Dr.<sup>a</sup> Joana Ribeiro pelas suas palavras de apoio.

À Escola Básica Integrada da Praia da Vitória, igualmente por ter concordado com a realização do rastreio de fluorose dentária nas suas instalações e aos seus alunos. Agradeço especialmente ao Professor Paulo Martins, coordenador do programa de Saúde Escolar da EBI, por todo o trabalho e esforço em preparar o rastreio, bem como à Dona Ana Soares por ter acompanhado o rastreio e por todo o seu esforço para que tudo corresse bem.

À minha família, avó, mãe e irmã, por simplesmente estarem lá e por me ajudarem a esquecer de todas as preocupações quando as dificuldades foram maiores.



À minha colega e amiga Marina, por ter partilhado comigo grande parte dos momentos de ansiedade e preocupação durante a realização deste trabalho, bem como por todo o seu apoio.

Às minhas amigas Camila, Ana e Natacha que, apesar de estarem longe, sempre me souberam encorajar a continuar, com as suas palavras de carinho e de apoio, mesmo nas maiores das dificuldades.



## Índice

Resumo.....	i
Abstract .....	ii
Agradecimentos .....	iii
Índice de Anexos .....	vii
Índice de Figuras .....	viii
Índice de Tabelas.....	ix
Índice de Gráficos.....	x
Acrónimos .....	xi
1. Introdução .....	1
1.1 – Enquadramento do tema .....	1
1.2 – Objectivos e estratégia de investigação.....	3
1.3 – Estrutura do trabalho .....	4
2. Revisão da Literatura.....	7
2.1 – Teor de Fluoreto na Água.....	7
2.2 – Saúde Pública .....	14
2.3 – Soluções para a remoção de fluoreto .....	21
3. Metodologia .....	35
4. Caracterização do caso de estudo.....	40
4.1 – Determinação da zona afectada por elevadas concentrações de fluoreto na torneira. 40	
4.2 – Nascentes que abastecem a zona afectada .....	43
4.3 – Enquadramento geológico das nascentes.....	44
4.4 – Padrão de fluoretos nas nascentes .....	50
4.5 – Variação de fluoretos ao longo do tempo nas nascentes .....	52
4.5.1 – Nascente das Frechas .....	52
4.5.2 – Nascente da Burra .....	53
4.5.3 – Nascente do Gaiteiro.....	54
4.5.4 – Nascente do Rolo dos Moinhos.....	55
4.6 – Distribuição geográfica das nascentes por teor de fluoretos .....	56
5. Apresentação e discussão de resultados .....	58
5.1 – Análise da precipitação para o período em estudo .....	58



5.1.1 – Comparação entre a precipitação observada e a precipitação normal .....	58
5.1.2 – Comparação entre a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada .....	61
5.2 – Influência dos factores do meio ambiente.....	63
5.2.1 – Influência da precipitação no teor de fluoretos ao longo do tempo .....	64
5.2.2 – Influência da precipitação no teor de fluoretos – TRH da água nos aquíferos .....	67
5.2.3 – Influência da litologia no teor de fluoretos.....	70
5.3 – Avaliação das consequências a nível da Saúde Pública.....	73
5.3.1 – Índice médio de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória ..	73
5.3.2 – Distribuição do índice de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória .....	75
5.3.3 – Distribuição do índice de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória pela sua dentição.....	77
6. Conclusões e Desenvolvimentos futuros .....	82
Referências Bibliográficas .....	86
Anexos .....	92



## **Índice de Anexos**

Anexo 1 – Rede de abastecimento de água do concelho da Praia da Vitória.....	93
Anexo 2 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária.....	94



## Índice de Figuras

Figura 1 – Diversos estágios da fluorose dentária .....	16
Figura 2 – Sistema de adsorção.....	24
Figura 3 – Estrutura de poros do carvão activado .....	25
Figura 4 – Esquema de uma membrana em espiral.....	27
Figura 5 – Esquema de uma membrana em fibra oca .....	28
Figura 6 – Esquema de osmose inversa .....	29
Figura 7 – Freguesias que compõem a zona em estudo (zona afectada por teores elevados de fluoretos na água da torneira) .....	42
Figura 8 – Distribuição geográfica das nascentes em estudo por teor de fluoretos .....	57
Figura 9 – Identificação das nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos) segundo a sua geologia .....	72
Figura 10 – Rede de abastecimento completa do concelho da Praia da Vitória .....	93
Figura 11 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária (1/2) .....	93
Figura 12 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária (2/2) .....	93



## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Concentrações em flúor de águas diversas (mg/L).....	8
Tabela 2 – Valores paramétricos para elementos que ocorrem naturalmente na água de consumo e que são significativos para a saúde .....	13
Tabela 3 – Quantidades necessárias de flúor, em função da temperatura média do ar (Fonte: Mendes e Oliveira) .....	14
Tabela 4 – Índice de Dean (1942).....	17
Tabela 5 – Limites da concentração de fluoreto e os seus efeitos .....	18
Tabela 6 – Tratamentos para a remoção de fluoretos da água de consumo .....	31
Tabela 7 – Aspectos importantes do funcionamento dos parâmetros críticos para os processos de remoção de fluoreto .....	33
Tabela 8 – Análise do teor de fluoretos (mg/L) na torneira, por zona de abastecimento (2008-2012) .....	40
Tabela 9 – Informações sobre as nascentes em estudo .....	43
Tabela 10 – Teor de fluoreto (mg/L) nas nascentes da ilha Terceira por maciços estruturais ...	47
Tabela 11 – Índice médio de fluorose das crianças observadas no concelho da Praia da Vitória .....	73
Tabela 12 – Percentagem de distribuição do índice de Dean na amostra.....	75
Tabela 13 – Percentagem de distribuição na amostra de crianças com dentição de leite.....	78
Tabela 14 – Percentagem de distribuição de crianças com dentição definitiva .....	80



## Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Padrão de fluoretos (mg/L) pelos maciços da Ilha Terceira .....	49
Gráfico 2 – Padrão de fluoretos das nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro, Rolo dos Moinhos) .....	50
Gráfico 3 – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente das Frechas.....	52
Gráfico 4 – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente da Burra.....	53
Gráfico 5 – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente do Gaiteiro.....	54
Gráfico 6 – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente do Rolo dos Moinhos .....	55
Gráfico 7 – Comparação entre a precipitação observada e a precipitação normal para o período em estudo (2008-2012).....	59
Gráfico 8 – Comparação entre a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada para o período em estudo (2008-2012) .....	62
Gráfico 9 – Comparação entre o teor de fluoretos (mg/L) e a precipitação observada (mm) para cada nascente (2008-2012).....	65
Gráfico 10 – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 1 mês.....	67
Gráfico 11 – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 2 meses .....	68
Gráfico 12 – Comparação entre a precipitação média diária e o teor de fluoretos .....	69
Gráfico 13 – Índice médio de fluorose das crianças observadas no concelho da Praia da Vitória .....	74
Gráfico 14 – Distribuição do grupo etário por freguesias .....	74



## **Acrónimos**

DL – Decreto-lei

EBI – Escola Básica Integrada

E.M. – Empresa Municipal

EPA – Environmental Protection Agency

ETA – Estação de tratamento de água

FD – Fluorose dentária

OPU – Operações e processos unitários

TRH – Tempo de residência hidráulico

WHO – World Health Organization

ZA – Zona de abastecimento



# 1. Introdução

## 1.1 – Enquadramento do tema

A água constitui um recurso essencial à vida e um factor indispensável à sobrevivência de todos os seres vivos. É caracterizada, do ponto de vista cosmogónico, como um recurso limitado, mas constante desde a sua formação (Mendes e Oliveira, 2004). É considerada uma dependência inamovível, tanto pela necessidade contínua de água que o Homem e outros seres vivos apresentam, como pela capacidade limitada que existe por parte desses mesmos seres em acumular no seu corpo. Isto implica não só um consumo constante de água de forma a substituir aquela que foi perdida, mas também que esta exista em quantidade e qualidade suficientes para satisfazer esse consumo constante. Porém, nem sempre isso é possível. A água não se encontra no seu estado puro na natureza, mas sim associada a outras substâncias que podem afectar as suas capacidades potenciais de aplicação e condicionar os seus possíveis usos (Mendes e Oliveira, 2004). Considerando o consumo humano como um desses usos, a presença de contaminantes e/ou substâncias indesejáveis nas massas de água torna necessário que esta seja submetida a um processo de tratamento para que se torne própria para consumo.

O flúor é o décimo terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, constituindo entre 0,06 a 0,09% desta (Fawell *et al.*, 2006; Fordyce *et al.*, 2007). É o elemento mais leve do grupo dos halogéneos e um dos mais reactivos, pelo que não é possível encontrá-lo no seu estado natural no meio ambiente, estando sempre associado a outras substâncias, combinado na forma de fluoretos (Fawell *et al.*, 2006). Estes são encontrados a níveis significativos numa vasta variedade de minerais, sendo os mais típicos a fluorite ( $\text{CaF}_2$ ), o topázio ( $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}(\text{OH})_2)$ ) e a criolite ( $\text{Na}_2\text{AlF}_6$ ), existindo também em minerais como o fosfato de rocha, apatite, mica, biotite, moscovite e anfíbola, entre outros (Mendes e Oliveira, 2004; Fawell *et al.*, 2006; Bia *et al.*, 2012).

É possível encontrar vestígios de fluoretos em todas as águas naturais, a uma determinada concentração. Concentrações mais elevadas estão normalmente associadas a águas subterrâneas, embora estas possam variar, dependendo da natureza das rochas onde a água escoar e da ocorrência de minerais que contenham fluoretos na zona de recarga (Fawell *et*



*al.*, 2006). As concentrações de fluoreto nas águas subterrâneas normalmente não ultrapassam os 10 mg/L, embora o valor natural mais elevado descrito seja de 2800 mg/L (WHO, 2011). Essas concentrações são influenciadas por diversos factores, quer naturais como antropogénicos, como é o caso do pH, dos sólidos totais dissolvidos, da alcalinidade, da porosidade e acidez do solo e das rochas, da temperatura e profundidade dos aquíferos, da actividade agrícola e industrial, do tamponamento do solo através de adsorção, da sazonalidade (relação entre a precipitação observada e o teor de fluoreto na água) e da concentração de cálcio (a ausência de cálcio em solução permite que concentrações mais elevadas de fluoreto se mantenham estáveis na água) (Brunt *et al.*, 2004; Fawell *et al.*, 2006; Chandrajith *et al.*, 2011; Cordeiro *et al.*, 2012; Rango *et al.*, 2012; Mandinic *et al.*, 2010). Teores elevados de fluoretos podem ser encontrados em muitas partes do mundo, particularmente em regiões da Índia, China, África Central e América do Sul. Todavia, teores elevados podem ser encontrados localmente na maioria das regiões do mundo (WHO, 2011).

O fluoreto é muito utilizado em preparações dentárias para combater as cáries, particularmente em áreas de elevada ingestão de açúcar. Estas preparações podem ser na forma de pastilhas, desinfectantes bucais, pasta de dentes, vernizes ou gel para aplicação local. Em alguns países, o fluoreto também pode ser adicionado ao sal de mesa ou à água de consumo a fim de proporcionar protecção contra as cáries dentárias (WHO, 2011). Contudo, embora o fluoreto seja considerado um elemento benéfico na prevenção das cáries, quando este é ingerido em quantidades superiores ao valor recomendado (doses orais de pelo menos 1 mg de fluoreto por kg de massa corporal (WHO, 2004)) causa efeitos adversos nos tecidos ósseos, nomeadamente nos dentes e nos ossos, causando situações de fluorose dentária e, em casos mais graves, de fluorose óssea (com mudanças na estrutura dos ossos) (WHO, 2011). A Organização Mundial de Saúde recomenda o teor de 1,5 mg/l na água para consumo humano, valor paramétrico adoptado pela legislação portuguesa relativa à qualidade da água para consumo humano, através do Decreto-Lei 306/2007, de 27 de Agosto. O risco de fluorose está dependente, no entanto, da ingestão total de fluoreto de todas as fontes possíveis (alimentos, bebidas, produtos dentários) e não só daquele que foi ingerido apenas pelo consumo directo de água (WHO, 2011). Para além da fluorose, o fluoreto tem outros efeitos negativos como fracturas dos ossos, afectando também pessoas com insuficiência renal e hipersensibilidade (Diesendorf, 1995; Mendes e Oliveira, 2004).



De forma a manter os níveis de fluoreto na água de consumo, consoante o valor recomendado a distribuir à população, foram desenvolvidas técnicas para a sua remoção. Existem diferentes tecnologias de tratamento para a remoção dos fluoretos, quer para grandes zonas de abastecimento, como para zonas mais pequenas (WHO,2011). As técnicas mais comuns são a separação por membrana (osmose inversa), adsorção, precipitação e coagulação química, troca iónica, electrocoagulação e alumínio activado (Goswami e Purkait, 2012). Contudo, em algumas zonas com elevados teores de fluoreto na água de consumo – que ocorram naturalmente – o valor paramétrico pode ser difícil de atingir, em algumas circunstâncias, apenas com a tecnologia disponível (WHO, 2011).

Nas águas subterrâneas e nascentes dos Açores, já foram identificadas concentrações de fluoretos acima do valor paramétrico. Cordeiro *et al.* (2012) identificaram riscos para a saúde pública resultantes da ingestão de água com teores de fluoreto com valores medianos entre 0,2 mg/L e 1,7 mg/L na ilha de São Miguel. Situações semelhantes ocorrem também na ilha Terceira, particularmente no concelho da Praia da Vitória. Os níveis de fluoreto na água de consumo do concelho variam, em valores médios, entre 0,8 mg/L e 2,6 mg/L (Rodrigues *et al.*, 2009), atingindo valores superiores ao valor paramétrico indicado no DL 306/2007, de 27 de Agosto. Ao longo dos últimos cinco anos (2008-2012), o problema mantém-se nalgumas captações do concelho, pelo que se considera importante verificar a possível origem deste problema, avaliar de que forma a população consumidora desta água se encontra afectada e, também, procurar encontrar soluções que possam vir auxiliar na atenuação deste problema.

## 1.2 – Objectivos e estratégia de investigação

O presente trabalho pretende avaliar o teor em fluoretos na água de consumo, através da análise de dados relativos a medições na torneira e na nascente, bem como procurar uma relação entre a concentração do fluoreto na água e os níveis de precipitação nas zonas de recarga. Também pretende analisar as consequências que existam a nível da saúde pública, derivado da ingestão contínua desta água por parte da população do concelho, bem como tentar, se possível, encontrar algumas sugestões que possam vir a mitigar este problema.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram definidos os seguintes objectivos específicos:



- Identificar as zonas de abastecimento do concelho da Praia da Vitória onde o teor de fluoretos na torneira é superior ao valor paramétrico;
- Verificar se existe o efeito da sazonalidade no teor de fluoretos nas captações, para um período específico;
- Avaliar quais os factores do meio ambiente que influenciam os teores de fluoretos nas zonas de captação;
- Verificar se existem prejuízos na saúde pública, nas zonas afectadas, associados à ingestão da água em questão;

### 1.3 – Estrutura do trabalho

Na presente dissertação, desenvolve-se o tema de avaliação de fluoretos na água de consumo da Praia da Vitória e suas consequências a nível da saúde pública em seis capítulos, constituindo o presente capítulo a introdução, onde estão definidos os objectivos do trabalho, o seu enquadramento, a estratégia de investigação a ser utilizada e, por fim, uma breve descrição da sua organização estrutural.

No segundo capítulo, é feita a revisão bibliográfica sobre a temática dos fluoretos. Neste define-se o que são os fluoretos e como estes se encontram na natureza, descrevendo-se como variam as suas concentrações em diferentes tipos de água, quais os factores ambientais que implicam a sua concentração em águas subterrâneas, bem como uma breve descrição da sua concentração nas rochas que podem, ou não, constituir a zona de recarga associada. É feita uma apresentação/caracterização da água subterrânea no arquipélago dos Açores (onde se enquadra a zona em estudo), onde se descreve a sua ocorrência, as suas características e a sua composição química. Identifica-se a existência de fluoretos nas águas subterrâneas do arquipélago dos Açores, bem como a existência de problemas devido a este factor e a falta de estudos relevantes sobre este tema. Também se refere quais os valores recomendados para o teor de fluoretos na água de consumo em diferentes países, particularmente nos EUA, em alguns países europeus e em Portugal. São mencionados diferentes meios de exposição a esta substância e quais os problemas de saúde associados à sua ingestão excessiva, nomeadamente as principais doenças existentes e de que forma o fluoreto actua para cada uma delas. É referida com mais detalhe a fluorose dentária, doença mais comum, onde se explicam os seus estágios e se descrevem diversos índices que podem



ser utilizados para a sua classificação. Também se descreve de que forma podem ser determinados os fluoretos na água e no corpo humano, sendo indicadas, por fim, algumas técnicas de remoção de fluoretos da água já desenvolvidas, bem como as suas vantagens e inconvenientes.

No terceiro capítulo, é descrita a metodologia a ser utilizada para a realização da dissertação e os seus vários passos, que são posteriormente aplicados na avaliação dos fluoretos na água de consumo humano e na determinação das consequências a nível da saúde pública.

O quarto capítulo é organizado em seis secções que caracterizam o caso de estudo, através da identificação da zona afectada, das nascentes correspondentes e da caracterização do padrão de fluoretos nessas nascentes, bem como o seu enquadramento geológico. No primeiro subcapítulo é feita uma análise do teor de fluoretos na torneira em cada zona de abastecimento do concelho da Praia da Vitória, para os cinco anos do período em estudo (Janeiro de 2008 a Dezembro de 2012). No segundo subcapítulo são caracterizadas as nascentes associadas às zonas de abastecimento onde se detectaram o excesso de fluoretos (nome da captação, zonas de abastecimento afectas a cada nascente, população abastecida, outras origens de água que contribuem para a zona de abastecimento, o caudal e a altitude de cada uma das nascentes). No terceiro subcapítulo é apresentado o enquadramento geológico das nascentes, fazendo uma breve descrição da geologia da ilha Terceira e localizando as nascentes no maciço a que pertencem. Também é feita uma comparação entre os teores de fluoreto de todas as nascentes da ilha por maciço, comparando os resultados obtidos com os teores de fluoretos das nascentes em estudo. O quarto subcapítulo apresenta, em forma de gráfico, o padrão de fluoretos encontrado para as quatro nascentes em estudo, entre os anos de 2008 e 2012. O quinto subcapítulo expõe em detalhe a variação dos fluoretos em cada uma das nascentes, para o período em questão. Por fim, no sexto subcapítulo apresenta-se um mapa onde se pode verificar a distribuição geográfica das nascentes pelos seus valores médios de fluoretos.

No quinto capítulo faz-se a apresentação e discussão dos resultados obtidos. Este é organizado em três secções distintas onde é analisada a precipitação para o período em estudo, a influência dos factores do meio ambiente, a avaliação das consequências a nível da saúde pública e as medidas de remoção de fluoreto implementadas na zona afectada. No primeiro subcapítulo faz-se a comparação entre a precipitação normal e a precipitação



observada, bem como entre a precipitação normal acumulada e a precipitação observada acumulada. No segundo subcapítulo é referida a influência directa da precipitação no teor de fluoretos encontrado nas nascentes, bem como a influência desta tendo em conta o tempo de residência hidráulico da água nos aquíferos. Também é referida a influência da litologia no teor de fluoretos encontrado nas nascentes em estudo. Por último, no terceiro subcapítulo são apresentados os resultados da análise dos dados referentes às consequências na saúde pública.

Por fim, no sexto capítulo é apresentada uma síntese dos aspectos mais relevantes dos capítulos anteriores, bem como as principais conclusões do trabalho efectuado e sugestões relativamente a possíveis trabalhos futuros relacionados a este tema. Completa-se a dissertação com as referências bibliográficas utilizadas para a sua elaboração e anexos.



## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 – Teor de Fluoreto na Água

O flúor é o elemento mais leve do grupo dos halogéneos, um não-metal, e é um elemento com elevada reactividade, pelo que não é possível encontrá-lo no seu estado natural no meio ambiente, estando sempre associado a outras substâncias, combinado na forma de fluoretos (fluoretos de cálcio, de alumínio, de sódio ou de outros metais) (Mendes e Oliveira, 2004). É o elemento mais electronegativo, o que significa que tem uma forte tendência para adquirir uma carga negativa e, em solução, formar iões  $F^-$  (Fawell *et al.*, 2006). Conhece-se um único isótopo estável ( $^{19}F$ ) e doze isótopos instáveis, o mais duradouro dos quais tem uma semi-vida de 1,83 horas (Mendes e Oliveira, 2004). É um elemento amplamente distribuído na crosta terrestre e, ao contrário dos outros halogéneos, a maioria dos fluoretos são derivados de minerais de rochas, sendo os minerais mais típicos a fluorite ( $CaF_2$ ), o topázio ( $Al_2SiO_4(F(OH)_2)$ ) e a criolite ( $Na_2AlF_6$ ) (Fordyce *et al.*, 2007; Mendes e Oliveira, 2004). Os fluoretos também existem, a níveis significativos, em minerais como o fosfato de rocha, apatite, mica, biotite, moscovite e anfíbola, entre outros (Fawell *et al.*, 2006; Bia *et al.*, 2012).

O fluoreto ocorre naturalmente no solo, nas plantas, nos animais e nos seres humanos em quantidades vestigiais. A concentração natural do fluoreto na água depende de diversos factores como o pH, os sólidos totais dissolvidos, a alcalinidade, a porosidade e a acidez do solo e das rochas, a temperatura e a profundidade dos aquíferos, entre outros (Mandinic *et al.*, 2010). É possível encontrar vestígios de fluoretos em todas as águas naturais, a uma determinada concentração. As águas superficiais (rios e lagos) apresentam, geralmente, teores de fluoretos bastante reduzidos, com concentrações menores que 0,5 mg/L, mas podem atingir valores muito superiores nalgumas regiões geológicas particulares (Fawell *et al.*, 2006; Mendes e Oliveira, 2004). Na água do mar o fluoreto aparece sob a forma de ião e sob formas como  $MgF^+$ . A sua concentração média é de 13 ng/kg, sendo a sua distribuição no meio marinho semelhante à da salinidade (Mendes e Oliveira, 2004). Contudo, em águas subterrâneas podem ocorrer concentrações baixas ou altas de fluoretos, dependendo da natureza das rochas e da ocorrência de minerais que contenham fluoretos na zona, podendo o seu valor ir de quantidades vestigiais até mais de 25 mg/L (Fawell *et al.*, 2006; Harrison, 2005).



A tabela seguinte apresenta concentrações de flúor em diversas águas, de acordo com Mendes e Oliveira (2004).

**Tabela 1** – Concentrações em flúor de águas diversas (mg/L) (Fonte: Mendes e Oliveira, 2004)

Valores observados	Oceanos (média)	Águas dos rios (média)	Águas de rios correntes		Água subterrânea não filtrada (Noruega)
			Nova Escócia (Canadá) (< 0,45 µm)	Finlândia (<0,45 µm)	
<b>Mediana</b>	1,3	0,001	< 0,05	0,008	0,33
<b>Mínimo</b>	-	-	< 0,05	0,3	0,03
<b>Máximo</b>	-	-	0,837	0,99	9,18

Concentrações elevadas de fluoretos em águas subterrâneas podem estar associadas a diversos ambientes geológicos, desde rochas sedimentares a rochas cristalinas e a aquíferos vulcânicos. Os fluoretos nestes aquíferos podem resultar de processos de lixiviação das rochas e da libertação de fluoreto para a atmosfera por vulcões activos (Cordeiro *et al.*, 2012). Outros factores, como o tamponamento do solo através de adsorção, também influenciam a concentração de fluoreto, como ocorre no caso dos andossolos, tipicamente encontrados em regiões vulcânicas (Cordeiro *et al.*, 2012). Estes solos têm origem na alteração de materiais vulcânicos recentes, nomeadamente cinzas, pedra-pomes e escórias basálticas. As características dos andossolos resultam da natureza da sua fracção argilosa, onde predominam alofanos e complexos organo-minerais (Rodrigues, 2002). De um modo geral, estes exibem densidades aparentes baixas, dificuldades de difusão, uma capacidade de retenção de água elevada e alterações irreversíveis após a dessecação (perda de água contida num corpo; desidratação) (Rodrigues, 2002). Este tipo de solos apresenta-se normalmente profundo e bem estratificado, exibindo com frequência descontinuidades litológicas e horizontes soterrados. Apresentam uma coloração diferenciada em função dos materiais originais, sendo pardo-avermelhados quando provém de formações mais básicas e pardo-escuros ou pardo-amarelados quando estas são mais ácidas (Rodrigues, 2002). A capacidade de infiltração é



baixa em zonas onde predominam os andossolos ferruginosos, com horizontes plácicos<sup>1</sup> desenvolvidos, terrenos de declive acentuado e sem vegetação implantada. Por outro lado, a capacidade de armazenamento dos andossolos ferruginosos é elevada, devido novamente aos horizontes plácicos, que funcionam como um verdadeiro imperme, impedindo a circulação de água e a penetração de raízes (Rodrigues, 2002). Este factor pode influenciar o armazenamento de fluoretos em determinados em aquíferos.

O fluoreto acaba por ser um constituinte comum das águas subterrâneas, estando as origens naturais de água ligadas a vários tipos de rochas e de actividade vulcânica (gases de fumarolas, por exemplo). As actividades agrícolas (uso de fertilizantes com fosfato) e industriais (argilas utilizadas na indústria cerâmica ou a queima de carvão) também contribuem para as elevadas concentrações de fluoretos nas águas subterrâneas (Brunt *et al.*, 2004). Outro factor que pode influenciar o teor de fluoretos nas águas subterrâneas é a sazonalidade. Considerando a variação dos fluoretos ao longo do tempo é possível mostrar que não existe uma grande influência sazonal na maioria das massas de água. No entanto, de acordo com Cordeiro *et al.* (2012), no caso das águas ricas em fluoretos já é possível encontrar essa relação. Os valores de fluoretos encontrados em algumas nascentes são mais baixos durante a estação chuvosa, que ocorre entre os meses de Outubro e de Março. Segundo os mesmos autores, os valores médios de fluoretos nas águas da ilha de São Miguel (Açores) encontram-se entre os 0,2 mg/L e os 1,7 mg/L, havendo, contudo, registos referentes a descargas subterrâneas com valores entre os 1,83 mg/L e os 5,09 mg/L. Também na Etiópia, segundo Rango *et al.* (2012), durante o longo período de seca entre Outubro e Fevereiro, a qualidade da água é negativamente afectada pelo facto de a evapotranspiração exceder a precipitação observada, o que causa o aumento das concentrações de fluoretos na água, bem como de outros elementos que ocorrem naturalmente. Chandrajith *et al.* (2011) confirmam este facto dizendo que, em climas tropicais, a desagregação das rochas e minerais é intensa e o fluoreto demonstra uma maior tendência em entrar no meio aquoso. Efeitos climáticos, particularmente a evaporação elevada devido à prevalente elevada temperatura ambiente e a baixa diluição podem levar ao aumento da concentração de fluoretos nas águas subterrâneas.

---

<sup>1</sup> Horizontes plácicos - horizontes pouco permeáveis, nem sempre contínuos, que desempenham uma importante barreira à circulação hídrica, induzindo a formação de zonas pantanosas ou de lagoas (Rodrigues, 2002).



O teor de fluoretos nas águas subterrâneas, segundo Rango *et al.* (2012), também está positivamente correlacionado com a salinidade, o ião sódio ( $\text{Na}^+$ ) e o ião hidrogenocarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) estão negativamente correlacionado com as concentrações de cálcio. Concentrações baixas de  $\text{Ca}^{2+}$  na água limitam a precipitação de fluoreto na forma de fluorite ( $\text{CaF}_2$ ). Por exemplo, na presença de 40 mg/L de cálcio, os fluoretos devem estar limitados a 3,1 mg/L, no entanto, é a ausência de cálcio em solução que permite que concentrações maiores de fluoreto se encontrem estáveis na água. (Fawell *et al.*, 2006). A diminuição gradual de  $\text{Ca}^{2+}$  está associada com um aumento global da salinidade e dos fluoretos (Rango *et al.*, 2012). Desta forma, **concentrações altas de fluoretos** devem ser esperadas em águas subterrâneas de aquíferos **pobres em cálcio** e em áreas onde minerais que possuam fluoreto sejam comuns. As concentrações de fluoretos também podem aumentar em águas subterrâneas onde ocorra a troca do catião sódio pelo cálcio (Fawell *et al.*, 2006). O ião sódio, porém, provoca efeitos muito mais tóxicos que o ião cálcio (Mendes e Oliveira, 2004). A razão Na/Ca em águas subterrâneas é normalmente maior com o aumento dos fluoretos devido à diferença de solubilidade entre o fluoreto de sódio e o fluoreto de cálcio (Chandrajith *et al.*, 2011). Segundo os mesmos autores, **a natureza alcalina das águas subterrâneas** também pode aumentar o teor de fluoreto presente nestas, devido à água alcalina poder mobilizar o fluoreto dos minerais. Resultados de uma experiência realizada por Saxena e Ahmed (2003) indicaram que um meio alcalino (pH entre 7,6 e 8,6), uma elevada concentração de  $\text{HCO}_3^-$  (variando entre 350 e 450 mg/L) e uma moderada condutividade eléctrica (variando entre 750 e 1750  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) são favoráveis para a dissolução do fluoreto (Chandrajith *et al.*, 2011).

No que diz respeito às concentrações de fluoretos nas rochas, mais especificamente, as ígneas e vulcânicas, possuem concentrações desde 100 mg/L até 1000 mg/L, havendo a acumulação de fluoretos durante a cristalização do magma e do seu processo de diferenciação. As águas subterrâneas de rochas cristalinas, especialmente granitos, são particularmente sensíveis a concentrações de fluoretos relativamente altas. Já as rochas sedimentares têm concentrações desde 200 mg/L até 1000 mg/L, enquanto as rochas metamórficas têm uma concentração de 100 mg/L até mais de 5000 mg/L. Nestas rochas os minerais originais são enriquecidos com fluoretos devido ao processo metassomático<sup>2</sup> (Brunt *et al.*, 2004).

---

<sup>2</sup> Processo metassomático – reacção de alteração ou transformação que ocorre nas rochas pela acção de um fluido líquido e/ou gasoso. É um processo que implica uma alteração na composição química das



No arquipélago dos Açores, cerca de 98% do abastecimento de água tem origem em fontes subterrâneas. Por esse motivo, os aquíferos são submetidos a uma pressão crescente, que é algumas vezes reflectida na deterioração da qualidade da água subterrânea, maioritariamente devido à salinização em zonas costeiras e no interior como resultado de níveis elevados de espécies de azoto e parâmetros microbiológicos, associados à actividade agrícola e à falta de sistemas de tratamento de águas residuais (Cordeiro *et al.*, 2012). Apesar das diferentes sucessões vulcânicas observadas em cada ilha, a ocorrência de água subterrânea pode ser geralmente descrita em termos de dois sistemas de aquíferos: os aquíferos de base, que correspondem a um lençol de água doce no substrato rochoso da ilha, sobrenadando a água do mar subjacente, e os aquíferos suspensos, que resultam da retenção de água na fracção do corpo rochoso insular disposta acima da superfície freática do aquífero de base, sendo a água drenada por nascentes localizadas em encostas de aparelhos vulcânicos (Cordeiro *et al.*, 2012; Rodrigues, 2002).

As características hidrogeológicas do arquipélago são heterogéneas, resultando da influência de um elevado número de factores como as características de deposição e pós-deposição das rochas vulcânicas e factores secundários como a desagregação e tectónica (Cordeiro *et al.*, 2012). A extrema heterogeneidade litológica e estrutural que caracteriza o corpo rochoso insular induz processos hidrológicos subterrâneos diferenciados que, do ponto de vista estratigráfico, se processam em dois patamares distintos: um correspondente à zona não saturada e um saturado, disposto nos sectores de menos altitude. O primeiro hidróstato ocupa a maior parte do corpo emerso da ilha, apresentando como limite superior a superfície de interface entre os substratos pedológicos e rochosos, e inferior o contacto com a zona saturada. A geometria desta última fronteira é naturalmente complexa, apresentando variações que podem ser sazonais (Rodrigues, 2002). Na zona não saturada podem ocorrer aquíferos suspensos, associados a massas rochosas localmente saturadas. Este facto advém da presença de intercalações pouco permeáveis como paleossolos, depósitos alterados ou escoadas compactas, que se comportam como barreiras à circulação vertical. A zona saturada ocupa a base inferior do corpo rochoso insular, englobando domínios emersos e imersos. A sua configuração é naturalmente irregular, apresentando como limite superior uma superfície freática real, se coincide com formações permeáveis, ou virtual nos restantes casos (Rodrigues, 2002).



Os estudos sobre os teores de fluoretos em águas subterrâneas e o seu impacto na saúde pública são escassos (Cordeiro *et al.*, 2012), contudo, os fluoretos estão presentes nas águas de algumas das ilhas do arquipélago. Já foi identificado que as concentrações de fluoretos podem chegar até 15 mg/L nas piscinas quentes das fumarolas do vulcão das Furnas (São Miguel), estando este facto associado a uma fonte de gases vulcânicos dominados por CO<sub>2</sub>, libertados através de estruturas de falhas e anéis (Cordeiro *et al.*, 2012). Também já foram identificadas nascentes com valores máximos de 2 mg/L na mesma ilha (Cordeiro *et al.*, 2012). No que diz respeito à ilha Terceira, no concelho da Praia da Vitória, nomeadamente a freguesia da Agualva apresenta níveis médios de fluoretos relativamente elevados nas suas nascentes, em comparação com o valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-Lei 306/2007, de 27 de Agosto (Rodrigues *et al.*, 2009).

Tal como todos os parâmetros que são necessários cumprir para manter a qualidade da água de consumo humano, os fluoretos, classificados como substâncias indesejáveis, também possuem legislação associada e valores a serem cumpridos na água a ser distribuída à rede pública. Actualmente, a U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency) tem como valor máximo permitido nos sistemas públicos de água 4,0 mg/L. Este valor foi estabelecido para atender à meta de saúde pública actual no país para a protecção contra o maior risco de fluorose óssea. A EPA também tem um valor limite secundário de 2,0 mg/L, que é recomendado para proteger as crianças contra a descoloração dos dentes e/ou a formação de manchas que podem ser causados pela exposição elevada aos fluoretos no período de formação anterior à erupção dos dentes (U.S. EPA, 2011). Já na Europa, o Concelho Directivo 98/83/CE, de 3 de Novembro de 1998 sobre a qualidade da água para consumo humano determina que o valor máximo da concentração de fluoretos na água deve ser de 1,5 mg/L. O mesmo acontece para a água engarrafada, havendo restrições apenas àquelas que ultrapassem o valor máximo, pois não devem ser consumidas por crianças (SCHER, 2010). Quanto a Portugal, o valor regulamentar para este parâmetro corresponde a 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-Lei 306/2007, de 27 de Agosto. Na tabela 2, apresenta-se o valor estipulado pela WHO (World Health Organization – Organização Mundial de Saúde) para os fluoretos, bem como para outros elementos que ocorrem naturalmente na água.



**Tabela 2** – Valores paramétricos para elementos que ocorrem naturalmente na água de consumo e que são significativos para a saúde (Fonte: WHO, 2011)

Elemento	Valor paramétrico		Observações
	µg/l	mg/L	
<b>Inorgânicos</b>			
Arsénio	10 (A,T)	0,01 (A,T)	
Bário	700	0,7	
Boro	2400	2,4	
Crómio	50 (P)	0,05 (P)	Para o crómio total
Fluoreto	1500	1,5	Volume de água consumida e consumo de outras fontes devem ser considerados quando se estabelecem padrões nacionais
Selénio	40 (P)	0,04 (P)	
Urânio	30 (P)	0,03 (P)	Apenas os aspectos químicos do urânio abordados
<b>Orgânicos</b>			
Microcystina-LR	1 (P)	0,001 (P)	Para o total de microcystina-LR (livre e combinado com a célula)

**Nota:** A, valor paramétrico provisório, pois o valor calculado encontra-se abaixo do nível de quantificação atingível; P, valor paramétrico provisório devido a incertezas na base de dados de saúde; T, valor paramétrico provisório, pois o valor calculado encontra-se abaixo do nível que pode ser atingido através de métodos práticos de tratamento, protecção na fonte, etc.

Mais especificamente, o Decreto-lei 236/98, de 1 de Agosto define, no ponto 1 do artigo 2º, categorias de água bruta, diferenciadas consoante a sua finalidade. No caso da água para consumo humano (alínea a)), o decreto-lei distingue três categorias de água: a1 (águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano), a2 (águas subterrâneas destinadas à produção de água para consumo humano) e a3 (águas de abastecimento para consumo humano), apresentando depois no anexo I três categorias de qualidade para o primeiro tipo de água. Nas águas de melhor qualidade (A1), e no que diz respeito aos fluoretos, os valores máximos recomendados são de 0,7 a 1,0 mg/L, e de 0,7 a 1,7 mg/L para as outras duas categorias (A2 e A3). Por sua vez, a primeira categoria é a única que possui valor máximo admitido, sendo este de 1,5 mg/L. A determinação dos fluoretos na água pode ser feita por diversos métodos, nomeadamente por doseamento potenciométrico, através de um eléctrodo específico, ou por métodos colorimétricos, recorrendo ao zircónio e eriocromiocianina-R ou à alisarina e nitrato de lantânio (Mendes e Oliveira, 2004). O método



do eléctrodo torna possível medir a quantidade total de fluoreto livre ou combinado, dissolvido na água, e também consegue detectar concentrações que se encontrem abaixo do valor recomendado. Contudo, a preparação das amostras é um passo crítico na quantificação correcta dos fluoretos, especialmente quando se quer medir apenas o ião livre (WHO, 2011). A exactidão e precisão do método utilizado terão de ser de 10% do valor paramétrico, tal como o seu limite de detecção (Mendes e Oliveira, 2004).

## 2.2 – Saúde Pública

Os fluoretos podem ser uma substância essencial para o ser humano, contudo ainda não foi provado ser totalmente necessário (WHO, 2011). Existem provas de ser benéfico em situações como a prevenção das cáries dentárias, se ingerido em doses adequadas (WHO, 2011). Quando as doses de fluoretos fornecidas pela alimentação estão abaixo dos limites inferiores necessários, verificam-se situações de carência, com algumas incidências no que respeita à saúde dentária. Em 1938, Dean (EUA) demonstrou a existência de uma correlação negativa entre o teor de fluoretos da água e a incidência de cáries, situando-se o óptimo na vizinhança da ingestão de 1 mg/L. Quando as quantidades de fluoretos fornecidas estão entre os limites requeridos (entre 1 e 1,5 mg/L), verificam-se efeitos favoráveis na saúde dentária, ocorrendo menor formação de cavidades dentárias, e diminuindo também a frequência de processos de degenerescência (Mendes e Oliveira, 2004). As quantidades de flúor que são necessárias variam com a temperatura, de acordo com limites bem definidos. Pode admitir-se a seguinte variação, de acordo com Mendes e Oliveira (2004), apresentada na tabela 3.

**Tabela 3** – Quantidades necessárias de flúor, em função da temperatura média do ar (Fonte: Mendes e Oliveira)

Temperatura média do ar Valores máximos (°C)	Teor recomendável (mg.F/L)	
	Limite inferior	Limite superior
10,0 – 12,0 °C	0,9	1,7
12,1 – 14,6 °C	0,8	1,5
14,7 – 17,6 °C	0,8	1,3
17,7 – 21,4 °C	0,7	1,2
21,5 – 26,2 °C	0,7	1,0
26,3 – 32,6 °C	0,6	0,8



Quando, pelo contrário, as doses são superiores ao limite superior requerido, ocorrem situações de toxicidade (Mendes e Oliveira, 2004), bem como interferência na formação normal do esmalte e dos ossos (Rango *et al.*, 2012).

A forma mais comum de exposição aos fluoretos é através da ingestão de água. Porém, este não é o único meio de exposição possível. O ar, os produtos dentários, os alimentos e as bebidas em geral são outras fontes de onde é possível ter contacto com esta substância (WHO, 2011). Os alimentos contêm, em geral, pequenas quantidades de fluoretos, embora alguns alimentos sejam especialmente ricos, como seja o caso do chá, de alguns frutos exóticos e de alguns peixes (Mendes e Oliveira, 2004). A exposição diária total pode variar de uma região para a outra, dependendo da concentração de fluoretos na água de consumo; a ingestão diária de fluoreto de uma pessoa depende não só deste factor, mas também da quantidade de água que a pessoa bebe, bem como outras bebidas preparadas com água, incluindo chá, café, refrigerantes, cerveja e sumo de frutas (Diesendorf, 1995). Ainda é necessário ter em conta o consumo de fluoreto através de comida preparada com essa mesma água, dos níveis existentes nos alimentos e do uso de preparações dentárias com este elemento (Diesendorf, 1995; WHO, 2011). Em alguns locais a exposição é ainda maior como consequência de algumas práticas como cozinhar e secar a comida com carvão, com grandes quantidades de fluoreto (WHO, 2011).

Quando a exposição aos fluoretos ultrapassa o teor recomendado (1,5 mg/L) podem acontecer situações de toxicidade. Essas situações são mais prováveis de ocorrer se a exposição ocorrer durante a fase de crescimento, o que aumenta o risco da doença mais conhecida associada à ingestão de fluoretos: a fluorose (Rango *et al.*, 2012). A fluorose é uma doença lenta, progressiva e incapacitante que afecta todos os órgãos, tecidos e células no corpo e resulta em queixas de saúde, tendo sobreposição de manifestações em diversas outras doenças (Viswanathan *et al.*, 2008). Esta ramifica-se em dois tipos diferentes: a fluorose dentária e a fluorose óssea, consideradas doenças endémicas em diversas regiões do mundo (Viswanathan *et al.*, 2008; Cordeiro *et al.*, 2012). Para além destas doenças as fracturas nos ossos e a hipersensibilidade também estão associadas à ingestão de fluoretos acima do valor recomendado (Diesendorf, 1995).

Os efeitos prejudiciais do consumo elevado de fluoretos na estrutura do tecido duro dental foram estabelecidos por Smith *et al.* (1931), que provaram a existência de uma ligação entre as manchas no esmalte e o excesso de fluoreto na água de consumo (Fordyce *et al.*,



2007). Esta condição, chamada de fluorose dentária (FD), é considerada um distúrbio de calcificação irregular das células formadoras do esmalte, devido à ingestão de excesso de fluoreto nos primeiros anos de infância, o que causa a danificação da formação normal do esmalte. O esmalte com este problema é poroso, geralmente manchado e com pontos castanhos; na sua forma mais severa o esmalte torna-se frágil, propenso a erosão e ruptura (Fordyce *et al.*, 2007). A fluorose dentária apresenta diferentes estágios; a princípio, os dentes tornam-se pálidos e opacos, como resultado de hipomineralização subsuperficial. Com o avanço da FD, os dentes perdem esmalte e cada vez mais desenvolvem buracos e ranhuras.



**Figura 1** – Diversos estágios da fluorose dentária (Fonte: <http://www.fluoridealert.org/issues/fluorosis/>)

A severidade da FD foi medida pela primeira vez utilizando o Índice de Dean, criado pelo próprio em 1934 (Rango *et al.*, 2012). Desde então diversos sistemas de pontuação de diagnóstico foram propostos para avaliar a predominância e a severidade da FD. Embora cada sistema seja utilizado para estimar os efeitos clínicos da exposição ao fluoreto na estrutura dos dentes, o foco de cada abordagem é específico do objectivo para o qual foram originalmente designados (Medina-Solis *et al.*, 2008). Como outros sistemas de pontuação da FD refere-se: o Índice de Thylstrup-Fejerskov – adaptado a águas subterrâneas que excedam os 5 mg/L, e que permite uma classificação de 0 a 9 (Rango *et al.*, 2012)), o Índice de Superfície do Dente de



Fluorose e o Índice de Risco de Fluorose (Medina-Solis *et al.*, 2008). Contudo, o índice mais utilizado e recomendado pela Organização Mundial de Saúde e que continua como o padrão dourado na saúde pública é o Índice de Dean e as suas subsequentes modificações. Este índice fornece uma perspectiva valiosa da fluorose e, devido à sua simplicidade, tem sido utilizado como uma ferramenta comum em estudos epidemiológicos onde é classificada toda a dentição (Medina-Solis *et al.*, 2008).

**Tabela 4 – Índice de Dean (1942) (Fonte: Horowitz *et al.*, 1967)**

<b>Índice de Dean</b>	<b>Classificação</b>
Normal	0
Questionável	1
Muito Suave	2
Suave	3
Moderado	4
Severo	5

Sendo a FD uma doença que afecta primeiramente crianças, Rango *et al.*, (2012), indicaram que algumas delas removem o esmalte manchado (castanho) dos seus dentes da frente (incisivos), raspando-os com vidros duros, o que afecta ainda mais a força dos dentes. Segundo os mesmos autores, as manchas nos dentes também possuem efeitos psicológicos; foi observado que algumas crianças têm relutância em falar ou sorrir, acções que as obrigariam a mostrar os dentes.

A fluorose óssea é uma doença crónica dos ossos e articulações, que envolve o aumento anormal da densidade dos ossos e algumas vezes da calcificação dos ligamentos, resultante da ingestão de grandes quantidades de fluoreto, ao longo de muitos anos (Diesendorf, 1995; Fordyce *et al.*, 2007). Esta normalmente ocorre quando a água de consumo contém entre 3 e 6 mg/L de fluoreto, particularmente com elevados consumos de água por parte das pessoas (WHO, 2011). Estados clínicos iniciais assemelham-se a artrite, com os pacientes sentindo dores e rigidez nas articulações. Em situações mais severas e avançadas, a doença pode causar situações de deformação, desenvolvidas apenas quando a água de consumo contém mais de 10 mg de fluoreto por litro (Diesendorf, 1995; WHO, 2011). Esta doença, porém, só é diagnosticável até quando as pessoas que ingeriram fluoreto desde



nascença alcançam a velhice (Diesendorf, 1995). Quanto às fracturas nos ossos, segundo o mesmo autor, desde 1990 diversos estudos epidemiológicos dos Estados Unidos da América e da Grã-Bretanha foram publicados, demonstrando que existe um aumento na taxa de fracturas dos ossos (particularmente fracturas da anca) em pessoas mais velhas, em áreas ricas em fluoretos. A predominância destas fracturas é maior em casos de pessoas que ingeriram fluoreto desde a nascença até à velhice, sendo fatais em 25% dos casos (Diesendorf, 1995). Da quantidade diária de fluoretos ingerida por um indivíduo, metade dessa quantidade é apreendida pelos ossos. Nos ossos, o fluoreto pode substituir os iões de hidroxilo na estrutura hidroxiapatita<sup>3</sup>, com possíveis implicações nas suas propriedades mecânicas. Além disso, o aumento da concentração de fluoreto no plasma aumenta directamente a diferenciação osteoblástica<sup>4</sup> e a sua actividade (Harrison, 2005). Segundo o mesmo autor, em teoria, outros distúrbios nos ossos podem ser afectados por estes mecanismos. Por exemplo, alterações na estrutura hidroxiapatita podem influenciar o desenvolvimento de otosclerose.

Por último, a hipersensibilidade, bem como reacções alérgicas e/ou intoxicação crónica têm sido relatadas devido à ingestão de água rica em fluoreto, devido ao uso de suplementos de fluoreto e ao uso de pasta de dentes com fluoreto. Estas reacções alérgicas incluem erupções cutâneas, dores do estômago e efeitos no sistema nervoso (Diesendorf, 1995). Contudo, segundo Harrison (2005), o fluoreto, por si só, não é um elemento alergénico, pelo que não causa hipersensibilidade ou outros efeitos imunológicos. Esta é apenas apresentada por alguns indivíduos, que são alérgicos ao fluoreto. A tabela seguinte apresenta um resumo das concentrações de fluoreto na água e as consequências associadas.

**Tabela 5** – Limites da concentração de fluoreto e os seus efeitos (Fonte: Goswani e Purkait, 2012)

Concentração de fluoretos (mg/L)	Efeitos na saúde
<1,0	Limite seguro
1,0 – 3,0	Fluorose dentária
3,0 – 4,0	Ossos e articulações enrijecidas e quebradiças
>4,0	Deformidades nos joelhos e ossos da bacia e finalmente paralisia tornando a pessoa incapaz de andar ou ficar em postura erecta, fluorose incapacitante (óssea)

<sup>3</sup>Estrutura hidroxiapatita – A hidroxiapatita é o constituinte mineral natural encontrado no osso representando de 30 a 70% da massa dos ossos e dos dentes (Costa *et al.*, 2009).

<sup>4</sup>Diferenciação osteoblástica – Diferenciação do osteoblasto (células de aparência epitelial com forma cúbica ou colunar, formando uma monocamada que reveste todos os locais de formação óssea activa) em osteócitos (células altamente ramificadas formadas através do achatamento dos osteoblastos quando a formação óssea está completa; a vida da matriz óssea está dependente destas células) (ELSEVIER, 2012).



Segundo Mendes e Oliveira (2004), podem ainda ocorrer situações patológicas como gastroenterites hemorrágicas, nefrites agudas e lesões várias ao nível do fígado e do coração. Podem ocorrer, como primeiros sintomas de intoxicação, vômitos, dores abdominais, náuseas e diarreias, seguidas ou não de convulsões. Devem-se ter ainda em conta, neste contexto, os insuficientes renais, que constituem um grupo de risco devido à sua elevada sensibilidade aos fluoretos. Experiências com animais demonstraram que o fluoreto causa várias alterações na estrutura histológica do rim, incluindo indicações extensivas da apoptose celular<sup>5</sup> resultar do enfraquecimento da função renal e do metabolismo. Embora o mecanismo exacto do enfraquecimento renal induzido pelo fluoreto não seja conhecido, está aparentemente relacionado com a concentração de fluoreto dentro da medula renal (Chandrajith *et al.*, 2011). Segundo os mesmos autores, foi demonstrado que o fluoreto induz uma dependência de citotoxicidade<sup>6</sup> em culturas de células humanas do túbulo proximal<sup>7</sup> que ocorre através de mecanismos dependentes por  $\text{Ca}^{2+}$  e fosfolipase- $\text{A}_2$  ( $\text{PLA}_2$ ). Por outro lado, concentrações de fluoreto consideradas não tóxicas podem demonstrar um efeito citoprotector (protecção das células contra agentes prejudiciais). O fluoreto, diminuindo intensivamente a  $\text{PLA}_2$  citosólica, exerce activamente efeitos citoprotectores e, a níveis não letais, pode até proteger as células do túbulo proximal de um ataque sobreposto, revelando um aspecto positivo da sua presença no rim. Porém, o papel duplo do fluoreto como agente citoprotector ou citotóxico está inteiramente dependente da sua dose (Chandrajith *et al.*, 2011). Os mecanismos e vias bioquímicas pelas quais o fluoreto age são fortemente influenciados pela presença dos iões cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ). O fluoreto de sódio ( $\text{NaF}$ ), por exemplo, poderia proteger uma lesão celular interferindo com o  $\text{Ca}^{2+}$  livre, inibindo assim a actividade  $\text{PLA}_2$  dependente de  $\text{Ca}^{2+}$  (Chandrajith *et al.*, 2011).

---

<sup>5</sup> Apoptose celular – A apoptose, ou morte celular programada, é um processo essencial para a manutenção do desenvolvimento dos seres vivos, sendo importante para eliminar células supérfluas ou defeituosas. Durante a apoptose, a célula sofre alterações morfológicas características desse tipo de morte celular, sendo essas a retracção da célula, perda de aderência com a matriz extracelular e células vizinhas, condensação da cromatina, mudança do núcleo celular e formação dos corpos apoptóticos (Grivicich *et al.*, 2007).

<sup>6</sup> Citotoxicidade – é um termo abrangente que significa, em linhas gerais, morte celular induzida. Está presente em todos os organismos multicelulares e unicelulares e em mamíferos. A citotoxicidade pode ser causada pela actividade lítica directa de uma célula citotóxica ou pela secreção de moléculas líticas solúveis (Pons e Pinto, [s.d.]).

<sup>7</sup> Túbulo proximal – Parte constituinte do rim onde ocorrem mecanismos de transporte, que podem ser divididos em duas fases: a princípio são reabsorvidos nutrientes essenciais como solutos orgânicos neutros (aminoácidos, glicose) e bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) e no final há maior reabsorção de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) e água por mecanismo osmótico devido ao aumento da concentração do fluido tubular (Silva, 2008).



Ao contrário do que acontece no rim, o cálcio pode ter efeitos benéficos contra as concentrações de fluoreto. Segundo Rango *et al.*, (2012), o aumento do consumo de cálcio pode reduzir a severidade da fluorose, interferindo com a taxa de absorção de fluoretos. Alguns alimentos, como o leite, são conhecidos por serem excelentes fontes de cálcio; estes são também reconhecidos por diminuírem a disponibilidade do fluoreto no aparelho gastrointestinal de 20% a 50%. Estudos animais ajudaram a esclarecer ainda mais a relação entre a biodisponibilidade do cálcio e a FD, revelando que o cálcio desempenha um papel fundamental na formação do esmalte, através do aumento da secreção de amelogenina, que neutraliza a obstrução de protões durante a fase de crescimento do esmalte (Rango *et al.*, 2012). Outros estudos revelaram ainda que a ocorrência de fluorose em crianças que consomem leite é menor que em crianças que não consomem leite. Da mesma forma, estudos na Índia demonstraram uma associação entre a vitamina D e deficiências nutricionais e alguns aspectos clínicos da fluorose. Esses estudos documentaram reduções da FD em populações que recebiam suplementos de cálcio e de vitamina D (Rango *et al.*, 2012).

No arquipélago dos Açores, também já foram identificados perigos para a saúde pública resultantes da ingestão de água com teores de fluoreto acima do valor paramétrico, nomeadamente na ilha de São Miguel. A Ribeira Quente, situada no concelho da Povoação, é considerada como um índice de referência no que diz respeito à ocorrência de fluorose dentária (Cordeiro *et al.*, 2012). Já na ilha Terceira, particularmente no concelho da Praia da Vitória, a freguesia da Agualva também pode ser considerada como uma referência para a FD. Mais especificamente, observações empíricas revelaram que a população dessa mesma freguesia apresenta níveis de fluorose dentária, especialmente no escalão etário com idades superiores aos 40 anos (Rodrigues *et al.*, 2009). Esta informação é, no entanto, superficial visto que não foi retirada de nenhuma fonte específica. Porém, de uma forma geral, na Europa parece que a fluorose dentária continua a ser considerada como um problema cosmético, em vez de uma questão de saúde pública. Em áreas em que o teor de fluoreto na água de consumo se encontra abaixo do valor estabelecido pela WHO (1,5 mg/L), ainda se limitam as considerações sobre o fluoreto apenas em relação às suas vantagens quanto às caries dentárias e não à total extensão deste problema, ou seja, o que a ingestão de uma concentração superior a 1,5 mg/l pode causar no ser humano (Rygaard *et al.*, 2008).

No que respeita a detectar fluoretos no corpo humano, os indicadores de exposição mais importantes são os níveis medidos no plasma, na urina e nos ossos. A concentração de



fluoreto nos tecidos dos dentes reflecte o fluoreto biologicamente disponível na altura da sua formação, mantendo-se esse valor constante no esmalte depois de formado (Harrison, 2005). Os ossos permitem avaliar a exposição cumulativa a este elemento sendo provavelmente o melhor guia na absorção a longo prazo, mas essa informação pode ser algo difícil de obter e não é prática para estudos de grande escala ou situações clínicas de rotina. Os níveis no plasma dão a melhor indicação viável da ingestão recente de fluoretos, podendo esse valor ser avaliado testando a saliva, que reflecte os níveis do plasma. Embora a excreção urinária de fluoreto seja um marcador útil da dose absorvida, esta tem um valor limitado para estimar a quantidade de fluoreto que foi ingerida devido à variação da proporção ingerida que é retida (em vez de eliminada). Além disso, a eliminação do fluoreto depende do pH da urina; também existem diferenças na proporção de fluoreto eliminado na urina relacionadas à idade (Harrison, 2005). Segundo o mesmo autor, apesar disto, as medições de fluoreto na urina podem ser indicadores úteis de exposição recente (especialmente se forem utilizadas amostras de 24 horas) e podem ser valiosas em estudos comparativos.

### 2.3 – Soluções para a remoção de fluoreto

A água, para poder ser utilizada para o consumo humano, deve ser submetida a um conjunto de operações e processos unitários (OPU) de tratamento. Convencionalmente, usa-se um conjunto de operações e processos unitários (OPU) de tratamento para esse fim, que no caso de águas de origem superficial corresponde tradicionalmente à sequência: coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção (Brito *et al.*, 2010). Para águas subterrâneas de boa qualidade é apenas necessário proceder à desinfecção.

A coagulação/floculação tem como objectivo principal promover a agregação de colóides em suspensão, de modo a adquirirem densidade suficiente para precipitar em tempo útil num decantador, ou para serem capturados num processo de filtração, e assim serem removidos da água (Brito *et al.*, 2010). O termo coagulação é normalmente aplicado ao mecanismo de desestabilização e transporte dos colóides, promovido por agitação da água de modo a dispersar o coagulante. Por sua vez, o termo floculação aplica-se ao processo de transporte que permite a aglomeração das pequenas partículas destabilizadas em flocos bem definidos, através de agitação lenta durante um período de tempo mais longo. Este processo elimina turvação, cor (aparente), matéria orgânica (e.g. substâncias húmicas) e



microrganismos. De acordo com Brito *et al.*, (2010) e Soares (2007), a coagulação/floculação é considerada a parte mais delicada do tratamento da água, pois se houver alguma falha implicará grandes prejuízos à qualidade e ao custo do produto distribuído à população.

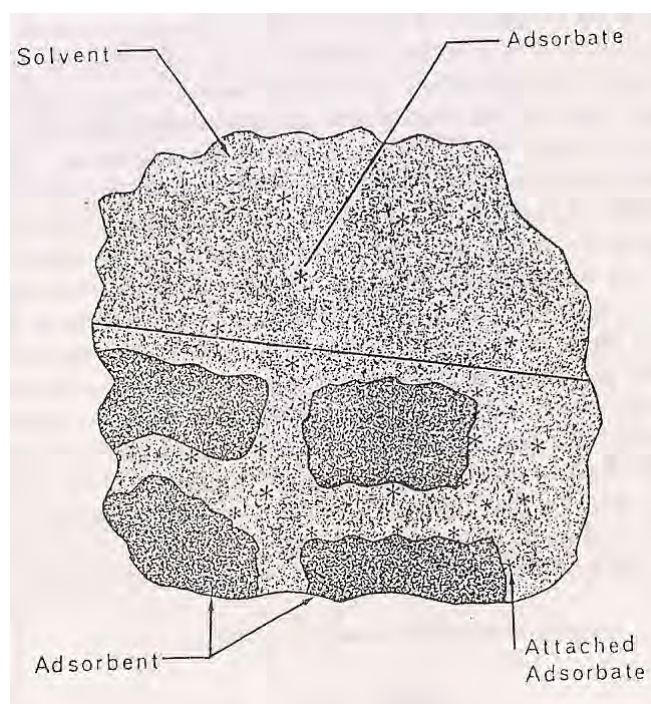
O processo de decantação, ou sedimentação, tem por objectivo a separação das partículas sólidas pela acção da gravidade. Podem ser removidas areias, matéria particulada e flocos químicos provenientes de processos de coagulação/floculação. O termo decantação é aplicado, normalmente, quando o objectivo é obter um líquido clarificado, enquanto o termo sedimentação é usado quando se pretende concentrar as lamas (Brito *et al.*, 2010). A etapa de decantação é utilizada com o intuito de diminuir a concentração de sólidos na etapa posterior de filtração, quando a concentração de sólidos é demasiado elevada (Soares, 2007). Segundo Brito *et al.* (2010), a filtração é o processo final de separação sólido-líquido num sistema de tratamento de água. O objectivo é remover sólidos suspensos e flocos resultantes de processos de coagulação/floculação, bem como partículas sólidas em suspensão que não puderam ser removidas pela decantação (Soares, 2007). Na filtração são utilizados dois métodos-base: a filtração sobre suporte (filtração à superfície) e a filtração em leito granular (filtração profunda). A filtração em leito granular é o método mais comum onde o principal mecanismo envolvido é a remoção mecânica, em que as partículas maiores do que os poros do filtro são retidas (Brito *et al.*, 2010). Por último, a desinfecção de uma água tem como objectivo reduzir o risco para a saúde pública, derivado da presença de microrganismos patogénicos (Brito *et al.*, 2010). É um dos processos mais importantes para o tratamento da água, como meio de controlo sanitário. *A priori*, julga-se que todas as águas de abastecimento, independentemente da sua origem ou tratamento, devem ser desinfectadas. Tal facto se faz necessário, pois sabe-se que a água está permanentemente sujeita a contaminação durante a sua distribuição (Soares, 2007). Este processo pode ser feito por agentes físicos (calor, radiação) ou por agentes químicos (halogéneos, como o cloro, bromo e iodo). Por razões económicas, os desinfectantes químicos são os mais utilizados e o cloro predomina no tratamento da água (Brito *et al.*, 2010). Contudo, apesar de a água poder ser submetida a todas estas OPU existem algumas substâncias, como o fluoreto, que não são facilmente removidas com o tratamento convencional.

Porém, o fluoreto não é removido com estas OPU, pelo que é necessário recorrer a outros tipos de tratamento para que este seja extraído da água. Actualmente, encontram-se disponíveis uma série de tecnologias de tratamento para este fim, quer para grandes zonas de



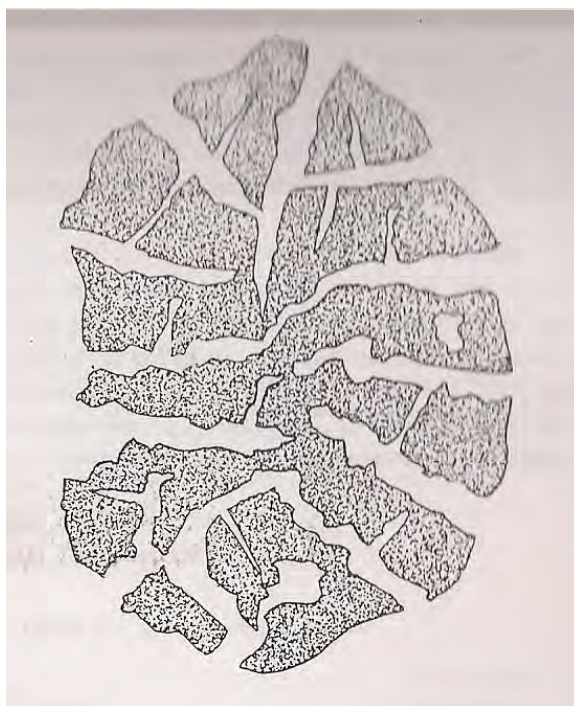
abastecimento, como para zonas mais pequenas. Diferentes métodos para zonas de abastecimento mais pequenas são utilizados em diferentes países, sendo os mais comuns tratamentos baseados em carvão de osso, contacto com precipitação, alumínio activado e argila (WHO, 2011). As grandes zonas de abastecimento, por sua vez, costumam recorrer ao alumínio activado ou a processos de tratamento avançado como a osmose inversa (WHO, 2011). Para além das tecnologias mencionadas, existem ainda outras formas de remoção dos fluoretos, tais como a precipitação e coagulação química, troca iónica, electrocoagulação, separação por membrana e adsorção (Goswami e Purkait, 2012). Neste trabalho serão tratados com mais detalhe os processos de adsorção e de osmose inversa, visto terem preferência sobre os restantes métodos por diferentes autores a serem referidos posteriormente.

A adsorção é o processo de acumulação de substâncias que estão em solução numa interface adequada (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O sistema total de adsorção envolve três componentes principais; estes são o adsorvente, o adsorvato ou soluto e o solvente. O solvente e o soluto formam a fase de solução do sistema, enquanto o adsorvente e o adsorvato anexado formam a fase sólida (Kornegay, 1978). A adsorção é, então, o processo onde um adsorvato é transferido da fase líquida (fase de solução) para a superfície de um adsorvente onde é mantido por forças atractivas. As forças de atracção podem ser físicas, químicas, eléctricas ou uma combinação das três (Kornegay, 1978). Também pode ver-se a adsorção como uma luta contra a solução. Por esse motivo, qualquer acção que tende a aumentar a afinidade das impurezas orgânicas para com o solvente polar (água) diminui a adsorção (Kornegay, 1978). Na figura 2 encontra-se representado o sistema de adsorção.



**Figura 2** – Sistema de adsorção (Fonte: Kornegay, 1978)

Os principais tipos de adsorventes incluem carvão activado, polímero sintético e adsorventes baseados em sílica, embora o polímero sintético e adsorventes baseados em sílica sejam raramente utilizados para a adsorção devido ao seu custo elevado, o que torna o carvão activado o mais utilizado para o tratamento da água (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O carvão activado é nada mais que material carbonoso submetido a uma oxidação selectiva para produzir uma estrutura altamente porosa. Algumas das principais matérias-primas utilizadas são carvão, madeira, cascas de nozes, turfa, lenhite e resíduos de processos de petróleo (Kornegay, 1978). O processo de preparação tem início com a carbonização dos materiais, aquecendo-os até um calor vermelho num destilador para retirar os hidrocarbonetos, mas com uma fonte insuficiente de oxigénio para suportar a combustão (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O processo de carbonização é essencialmente um processo de pirólise. As partículas carbonizadas são então activadas pela sua exposição a gases oxidantes tais como o vapor e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), a elevadas temperaturas (entre 800 e 900°C). Estes gases desenvolvem uma estrutura porosa nas partículas carbonizadas, criando assim uma grande superfície interna (Tchobanoglous *et al.*, 2003). Na figura seguinte encontra-se representada a estrutura porosa do carvão activado.



**Figura 3** – Estrutura de poros do carvão activado  
(Fonte: Kornegay, 1978)

As propriedades de superfície são resultado do material utilizado, bem como do procedimento de preparação, o que significa que diferentes variações são possíveis. O tipo de material base do qual o carvão activado deriva pode também afectar a distribuição do tamanho dos poros e as características de regeneração. Após activação, o carvão pode ainda ser separado, ou preparado, em tamanhos diferentes, com capacidades de adsorção diferentes (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

Para aplicar o processo de adsorção por carvão activado ao tratamento da água devem ser tidas em conta três considerações importantes: a forma do carvão activado, a capacidade do carvão e a taxa de adsorção. A capacidade do carvão e a taxa de adsorção são, por sua vez, influenciadas pela natureza e concentração do carvão activado, pela natureza e concentração das impurezas presentes, pela natureza do solvente (água) e pelas condições ambientais e operacionais (Kornegay, 1978). Embora estas considerações estejam relacionadas ao carvão activado, elas são igualmente importantes para outros adsorventes que possam vir a ser utilizados. O processo de adsorção em si ocorre em mais ou menos quatro etapas definidas: transporte de massa em solução, transporte de película em difusão, transporte de poros e adsorção (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O transporte de massa em solução envolve o

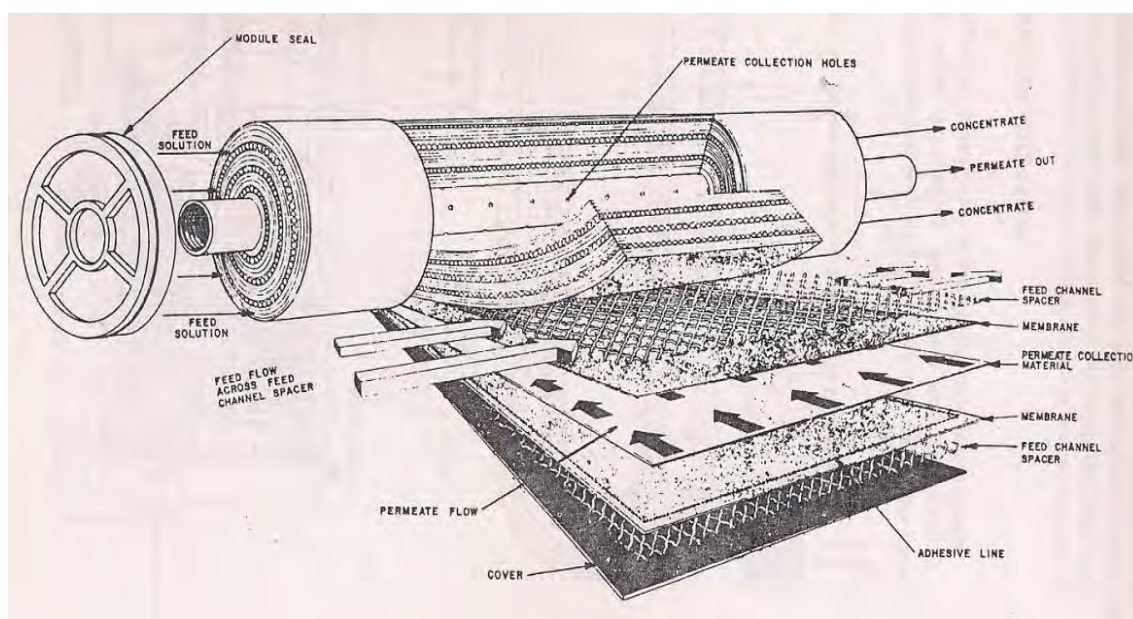


movimento do material orgânico para ser adsorvido através de grandes quantidades de líquido até à camada limite de película fixa de líquido a rodear o adsorvente, normalmente por advecção e dispersão. O transporte de película em difusão envolve o transporte por difusão do material orgânico através da película líquida estagnada até à entrada dos poros do adsorvente (Tchobanoglous *et al.*, 2003). O transporte de poros envolve o transporte do material a ser adsorvido através dos poros por uma combinação de difusão molecular através do poro líquido e/ou por difusão ao longo da superfície do adsorvente. Por sua vez, a adsorção envolve a ligação do material a ser adsorvido ao adsorvente num local de adsorção livre. Esta pode ocorrer na superfície externa do adsorvente, bem como nos macroporos, mesoporos, microporos e submicroporos, embora a área de superfície dos macroporos e mesoporos seja pequena comparada com a área de superfície dos microporos e submicroporos. A quantidade de material adsorvido pelos macroporos e mesoporos é normalmente considerada desprezível (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

A osmose é definida como o transporte espontâneo de um solvente (como a água) de uma solução diluída para uma solução concentrada através de uma membrana semipermeável ideal que impede a passagem do soluto (iões na solução) mas permite o escoamento do solvente (água). O sistema encontra equilíbrio quando a pressão hidrostática no lado mais concentrado balança a força que move a água através da membrana (Davis, 2010). Isto é tido como a pressão osmótica, que pode ser definida como a pressão necessária para parar o escoamento do solvente através da membrana semipermeável, que se encontra a separar duas soluções de diferentes concentrações (Nusbaum e Riedinger, 1978). Se, pelo contrário, a pressão for exercida de forma a superar a pressão osmótica, o solvente irá escoar do lado mais concentrado para o menos concentrado. Este processo é definido como osmose inversa (Davis, 2010). A osmose inversa é um processo de membrana que usa as diferenças de permeabilidade dos constituintes da água como uma técnica de separação. A membrana utilizada é de material sintético, semipermeável, isto é, é muito permeável para alguns constituintes e pouco permeável para outros. De forma a remover um constituinte da água, esta é bombeada contra a superfície da membrana, resultando na separação dos fluxos de produtos e de resíduos (Davis, 2010). Os materiais mais utilizados nas membranas para a osmose inversa são derivados de celulose e derivados de poliamida. O acetato de celulose, o material comercial comum, não tolera temperaturas acima dos 30°C e tende a hidrolisar quando o pH é inferior a 3 ou superior a 8. Este é susceptível a degradação biológica e também se degrada com concentrações de cloro livre acima de 1 mg/L (Davis, 2010). Por sua vez, as



membranas de poliamida são normalmente resistentes à degradação biológica, são estáveis em pH entre 3 e 11 e não hidrolisam na água. Estas membranas, sob as mesmas condições de pressão e temperatura, tendem a produzir melhores resultados que as de acetato de celulose, porém, são mais susceptíveis a incrustações e não toleram qualquer concentração de cloro livre na água (Davis, 2010). As membranas são normalmente fabricadas em duas configurações, sendo estas em espiral ou em fibra oca (Davis, 2010). O modelo em espiral é constituído da seguinte forma: duas folhas de membrana planas estão unidas ao longo de três lados, com a camada da membrana activa voltada para fora. Um separador é colocado entre as duas folhas para que estas não se toquem; a extremidade aberta dos envelopes formados pelas folhas é ligada a um tubo central perfurado que recolhe o permeado (Davis, 2010). Os envelopes são enrolados em torno do tubo para formar um cilindro; uma tela de polipropileno<sup>8</sup> é usada para formar o canal de alimentação de água entre os envelopes de membrana. É ainda aplicado um embrulho de forma a manter a configuração cilíndrica (Nusbaum e Riedinger, 1978). Na figura seguinte encontra-se representado o esquema da membrana em espiral.

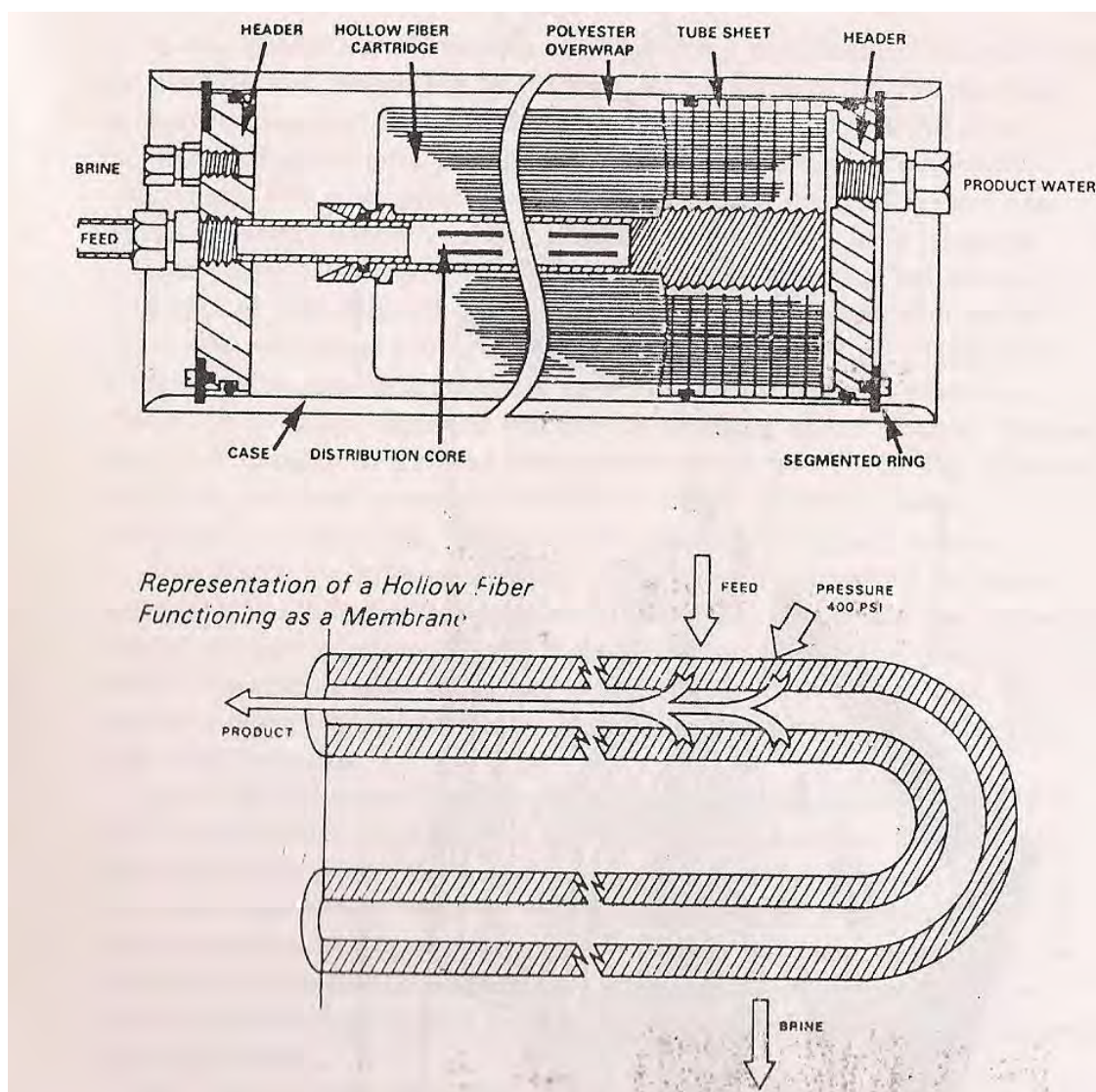


**Figura 4** – Esquema de uma membrana em espiral (Fonte: Nusbaum e Riedinger, 1978)

<sup>8</sup> Polipropileno – Polímero ou termoplástico semi-cristalino, derivado do propeno, de baixo custo e fácil de processar. É um material de uso comum, embora muito utilizado em aplicações de engenharia, devido, sobretudo, à sua elevada versatilidade (fonte: <http://www.poliversal.pt/pt/landing-pages/tipos-de-plasticos/pp---polipropileno-36.html>).



Na configuração em fibra oca, a membrana e o recipiente de pressão são uma unidade integrada. As fibras são formadas num feixe em forma de “U”, com as suas extremidades envasadas numa folha de tubo. O feixe ligado à folha de tubo é organizado num recipiente de pressão cilíndrico; a alimentação de água entra no centro do recipiente através de um tubo poroso ou perfurado e é distribuída radialmente através do feixe de fibras. Sobre pressão, a água escoo para as fibras finas e sai através das capilaridades (Nusbaum e Riedinger, 1978). Na figura seguinte encontra-se esquematizada a configuração da membrana em fibra oca.

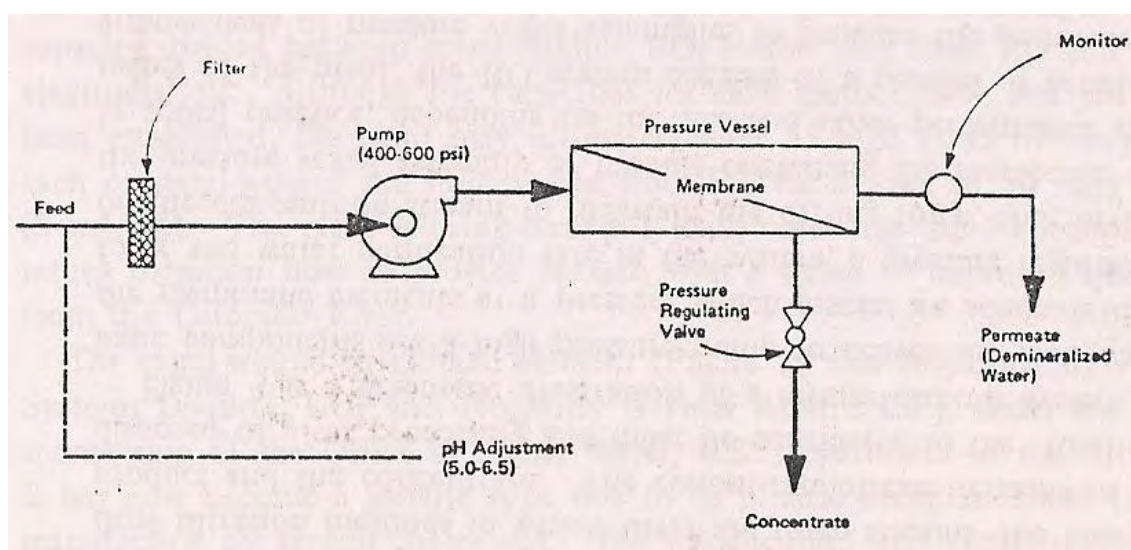


**Figura 5** – Esquema de uma membrana em fibra oca (Fonte: Nusbaum e Riedinger, 1978)

Uma das maiores diferenças entre as membranas em espiral e as de fibra oca é o carácter do fluxo dentro do elemento da membrana. As membranas espirais operam sobre



condições de fluxo turbulento, enquanto as de fibra oca operam essencialmente sobre fluxo laminar (Nusbaum e Riedinger, 1978). A configuração em espiral é a mais comum para a produção de água para consumo a partir de água subterrânea e de água superficial, enquanto a de fibra oca é utilizada extensivamente para a dessalinização da água do mar (Davis, 2010). Para a remoção dos fluoretos, tendo em conta estes aspectos, a melhor configuração é a membrana em espiral, visto adequar-se melhor a este fim. Na figura seguinte encontra-se um esquema simples de um sistema de osmose inversa.



**Figura 6** – Esquema de osmose inversa (Fonte: Nusbaum e Riedinger, 1978)

Os componentes básicos deste sistema, como é possível observar na figura 6, são uma bomba de alta pressão para fornecer a água de alimentação à membrana a uma pressão que assegure uma força motriz adequada e uma permeação de água no sistema, uma válvula reguladora de pressão no fluxo concentrado para manter a força motriz, e o módulo do recipiente de pressão contendo as membranas (Nusbaum e Riedinger, 1978).

Tanto o processo de adsorção como o de osmose inversa foram aplicados experimentalmente na remoção de fluoreto da água de consumo por diferentes autores, cada um obtendo diferentes resultados. Goswani e Purkait (2012) deram preferência ao processo de adsorção visto que, segundo os autores, esta torna-se a tecnologia mais aceitável, pois é a mais eficiente, a mais simples, rentável e rápida em comparação com outras técnicas exploradas pelos autores (precipitação e coagulação química, troca iónica, electrocoagulação e separação por membrana). O custo deste processo depende, principalmente, do custo do



adsorvente. Para a remoção de fluoreto são normalmente utilizados adsorventes como gesso, lama vermelha granular, cimento hidratado,  $\gamma$ -óxido de alumínio e cerâmica granular. Contudo, estes materiais não foram utilizados pelos autores como adsorventes devido ao seu nível insatisfatório de capacidade de adsorção. Baseado no seu mecanismo, o óxido de alumínio ácido foi considerado o melhor adsorvente para a remoção de fluoreto, utilizando a adsorção como método de remoção (Goswami e Purkait, 2012). Bia *et al.* (2012), no seu estudo, também deram preferência ao processo de adsorção, alterando, no entanto, o adsorvente, utilizando um preparado em laboratório, a Fe (III) –montemorilonite modificada (Fe-M). A escolha do adsorvente deveu-se a pesquisas centradas na capacidade adsorvente do fluoreto em diferentes superfícies minerais que contenham ferro; o fluoreto apresenta uma forte afinidade para hidróxidos metálicos, especialmente hidróxidos de ferro e de alumínio. Ainda neste contexto, Bia *et al.* (2012), também consideraram a competição entre o fluoreto e o fosfato no seu estudo, devido à presença do fosfato melhorar a adsorção dos fluoretos em superfícies minerais. A adsorção do fluoreto por parte da Fe (III) –montemorilonite, todavia, depende ainda de outros factores como cinética de adsorção em lote, o efeito do pH, a força iónica e efeitos ambientais (Bia *et al.*, 2012), apresentando vantagens e desvantagens diferentes da adsorção por óxido de alumínio ácido, utilizada por Goswami e Purkait (2012). Numa outra perspectiva, existem autores como Arora *et al.* (2004), que consideram a separação por membrana, nomeadamente a osmose inversa, como um processo mais vantajoso para a remoção do fluoreto da água. A principal vantagem referida pelos autores é o facto da separação por membrana não recorrer ao uso de químicos e por se basear em rejeições simultâneas de todos os tipos de espécies iónicas e moleculares pelas membranas semipermeáveis. Este processo, contudo, também apresentou algumas desvantagens, principalmente ao nível da membrana (Arora *et al.*, 2004). Na tabela 6, abaixo apresentada, encontra-se um resumo dos tratamentos principais mencionados para a remoção de fluoretos da água de consumo, utilizados pelos autores referidos (Goswami e Purkait (2012), Bia *et al.* (2012) e Arora *et al.* (2004)), bem como os resultados obtidos por estes.



**Tabela 6 – Tratamentos para a remoção de fluoretos da água de consumo**

Autores	Tipo de Tratamento	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Goswani, A. <i>et al.</i> (2012)	Adsorção por óxido de alumínio ácido (utilizado em concentrações de fluoreto de 5 mg/L, 10 mg/L e 15 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Concentrações iniciais baixas de fluoreto levam a uma rápida adsorção;</li><li>- Com o aumento da dose de óxido de alumínio, a concentração de fluoreto residual baixou e foi conseguido o valor ideal;</li><li>- 200 rpm permitem um aumento na percentagem de remoção de fluoreto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- A adsorção rápida do fluoreto só ocorre nos primeiros 20 minutos;</li><li>- São necessários 4,5 g/l de óxido de alumínio para manter os fluoretos no limite permitido, para águas com valores iniciais de 15 mg/L, 10 mg/L e 5 mg/L;</li><li>- Depende muito do pH.</li></ul>
Bia, G. <i>et al.</i> (2012)	Adsorção de fluoretos por Fe (III) -montemorilonite <sup>9</sup> modificada (Fe-M) e competição com fosfato (utilizado em concentrações de fluoreto de 5 mg/L a 70 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"><li>- A adsorção de fluoreto por parte da Fe-M, ao pH da água superficial ou subterrânea, é maior do que em outros adsorventes;</li><li>- Minerais de argila com hidróxidos de Fe (como os utilizados) retêm o fluoreto através da adsorção;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- A presença de fosfato reduz a adsorção do fluoreto, em ambientes onde ambos ocorram;</li><li>- A adsorção de fluoreto só é maior que a de fosfato se ambos forem adicionados ao mesmo tempo.</li></ul>
Arora, M. <i>et al.</i> (2004)	Separação por membrana (osmose inversa) (utilizado em concentrações de fluoreto de 2,5 mg/L a 10 mg/L)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Boa capacidade de remoção de fluoretos a baixas pressões (0,5 bar permitem remoções de 82%);</li><li>- Aumento do fluxo também permite uma maior remoção de fluoreto;</li><li>- Outras substâncias poluentes são removidas com este método, para além do fluoreto.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Embora maior pressão melhore a remoção de fluoreto, o consumo de energia é maior e o tempo de vida útil da membrana é diminuído;</li><li>- Apenas a pH 7 ocorre a remoção máxima de fluoreto. Quando o pH é mais baixo, afecta o desempenho da membrana, obrigando à sua substituição;</li><li>- Temperaturas elevadas diminuem a eficiência da remoção, devido ao aumento da solubilidade do soluto e difusão coeficiente.</li></ul>

<sup>9</sup> Montemorilonite – qualquer mineral de um grupo de argilas; as suas variedades químicas incham na água e possuem elevadas capacidades de troca de catiões. Estes minerais são produto de actividade vulcânica e hidrotermal e são compostos por silicatos de alumínio hidratado na forma de partículas extremamente pequenas (fonte: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/391037/montmorillonite>)



Tendo em conta as concentrações de fluoretos normalmente encontradas nas águas subterrâneas e nascentes do arquipélago dos Açores, o processo de remoção apresentado por Arora *et al.* (2004) demonstra ser o mais adequado, visto ter sido utilizado para águas com concentrações desde os 2,5 aos 10 mg/L. Este método, comparado aos de adsorção apresentados por Goswami e Purkait (2012) e Bia *et al.* (2012), revela-se mais simples, embora tenha sido apenas um processo experimental, sem haver nenhuma aplicação real por parte de nenhum dos autores mencionados.

Existem ainda outras formas de remoção de fluoretos, utilizadas em alguns países como a Índia. Nestes os sistemas de remoção de fluoreto são diferentes do que é normalmente encontrado nos países desenvolvidos, podendo ser apresentados em dois níveis organizacionais: remoção de fluoreto nas habitações, realizado pelos donos das habitações para consumo próprio e remoção de fluoreto nas comunidades, realizado para consumo público numa aldeia ou cidade. Porém, os processos de remoção de fluoreto não têm tido muito êxito nesses países, apesar das diversas tentativas em implementar projectos visando o fornecimento de água tratada em áreas com água rica em fluoreto (Bregnhøj, 1997). Os parâmetros críticos essenciais a considerar em qualquer projecto deste tipo podem ser divididos em três grupos: a motivação dos utilizadores, a técnica mais económica e apropriada e uma estrutura organizacional adequada (Bregnhøj, 1997). Os aspectos mais importantes para o funcionamento de cada um desses parâmetros para o processo de remoção de fluoreto nas habitações e para o processo de remoção nas comunidades encontram-se resumidos na tabela 7.

No entanto, existem alguns contratempos que implicam o bom funcionamento e realização dos parâmetros críticos. Algumas vezes, os habitantes tendem a esquecer o conhecimento que lhes foi transmitido. Um grande número de habitantes são frequentemente analfabetos e estão mais habituados a aprender por experiência do que por ensinamento. Algumas pessoas, apesar de conhecerem as consequências associadas ao elevado teor de fluoretos na água de consumo, continuam sem remover o fluoreto, mesmo com todos os meios necessários. Este comportamento irracional quer atribuído à falta de interesse, ignorância ou preguiça, faz parte do carácter humano (Bregnhøj, 1997).



**Tabela 7** – Aspectos importantes do funcionamento dos parâmetros críticos para os processos de remoção de fluoreto (Fonte: Bregnhøj, 1997)

	<b>Processo de remoção nas habitações</b>	<b>Processo de remoção nas comunidades</b>
<b>Motivação dos utilizadores</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elemento essencial, pois qualquer técnica requer assistência, trabalho extra e pagamento;</li><li>- Requer consciência sobre as vantagens da remoção de fluoreto por parte dos habitantes;</li><li>- Um compromisso ao investimento feito funciona como meio de motivação (sentimento de posse tem efeitos positivos);</li><li>- Melhorias na qualidade da água (arrefecimento e melhor sabor);</li><li>- Atenção constante do gerente, combinado a um compromisso (como um contracto).</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- É mais simples motivar as pessoas a andar um pouco mais para obter a sua água do que o trabalho existente na remoção de fluoreto nas habitações;</li><li>- Um processo de tratamento funcional, acessível e não muito distante das pessoas aumenta a motivação da população;</li></ul>
<b>Técnica mais económica e apropriada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Técnica barata e que necessite apenas de uma pequena carga de trabalho;</li><li>- Deve ser fácil de aprender e relembrar, mesmo por pessoas analfabetas;</li><li>- Processos simples/operações fáceis e materiais resistentes, que são fáceis de manter e reparar;</li><li>- Segurança no manuseio de químicos;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Instalações operadas pela comunidade devem ser simples de operar por alguém da aldeia;</li><li>- Os materiais para construção devem ser localmente acessíveis, de forma a ser possível a reparação;</li><li>- Rotina diária da qualidade da água tratada deve ser assegurada;</li><li>- É importante manter um bom aspecto e sabor da água.</li></ul>
<b>Estrutura organizacional adequada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Apoio por parte das autoridades da água ou revendedores privados no fornecimento de químicos e peças extra;</li><li>- Acesso simples a apoio técnico;</li><li>- Assegurar um acompanhamento que mantenha a consciência e motivação entre os habitantes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Deve haver dois guardas treinados a operar as instalações;</li><li>- Deve existir um manual de manutenção completo e detalhado, com a lista dos locais onde estão as peças frágeis;</li><li>- Uma estrutura de controlo e supervisão deve ser estabelecida junto das autoridades da água;</li><li>- Departamentos de engenharia, saúde e outras organizações locais devem trabalhar em conjunto para maximizar o efeito e uso da água tratada.</li></ul>

Outro factor que parece levantar obstáculos à motivação das pessoas é a falta de resultados viáveis, já que o fluoreto não é detectado e a redução na prevalência da fluorose não é vista nos primeiros muitos anos. Também existem queixas por parte dos utilizadores de tarefas manuais pesadas durante o processo de remoção de fluoreto. Isto pode, até certo



ponto, afectar o sucesso do projecto. O mau sabor da água unido a rumores sobre os efeitos secundários do tratamento também podem ser efectivos em desencorajar as pessoas a beber a água tratada (Bregnhøj, 1997). Por outro lado, os motivos pelo qual as instalações comunitárias não são sempre introduzidas primeiro são custos mais elevados de construção e custos mais elevados de químicos, especialmente se toda a água doméstica for tratada e distribuída. Também se torna desmotivante para as pessoas se as instalações não estiverem a funcionar como esperado, devido a cortes de electricidade ou a problemas operacionais (avarias técnicas ou falta de químicos). Água com mau aspecto derivada das instalações de tratamento é vista igualmente como um factor desmotivante para a população, resultando na rejeição da água tratada (Bregnhøj, 1997). De uma forma geral, os tratamentos mais comuns encontrados nesses países, quer para remoção de fluoreto nas habitações ou para remoção de fluoreto nas comunidades, são a precipitação, a adsorção, o mecanismo de troca iónica, o método electroquímico e a separação por membrana (Eswar e Devaraj, 2011).



### 3. Metodologia

A metodologia adoptada para a realização deste trabalho visa tornar possível a apresentação de um conjunto de dados relevantes sobre o teor de fluoreto na água de consumo humano do concelho da Praia da Vitória e sobre as implicações existentes na saúde pública das zonas afectadas do concelho, tendo como objectivo uma avaliação detalhada do caso de estudo. Esta avaliação foi feita para dar resposta a um conjunto de perguntas que se distribuem em dois grupos distintos: qualidade da água e saúde pública.

No que respeita à qualidade da água, pretende-se responder a três questões fundamentais:

- 1) Quais as zonas de abastecimento onde o teor de fluoretos na torneira é superior ao valor paramétrico?
- 2) Nessas zonas de abastecimento, identifica-se um padrão contínuo ou descontínuo de variação do teor de fluoreto nas respectivas captações?
- 3) Quais os factores do meio que determinam os teores de fluoreto nas captações?

Para responder à primeira pergunta começou-se por estudar os históricos das análises da água feitas na torneira de todo o concelho, para um período de cinco anos (Janeiro de 2008 a Dezembro de 2012). É importante referir que este foi o período escolhido pois era aquele para o qual a entidade gestora (Praia Ambiente E.M.) tinha mais informação disponível. Recorrendo aos dados fornecidos pelos editais da água do concelho, calculou-se o mínimo, o máximo, a média e a mediana do parâmetro fluoreto para cada uma das zonas de abastecimento (Biscoitos, Aqualva, Quatro Ribeiras, Vila Nova, São Brás, Lajes/Santa Luzia/Juncal, Fontinhas, Porto Martins/Fonte Bastardo/Cabo da Praia e Santa Cruz). Comparando o valor máximo obtido em cada zona de abastecimento com o valor paramétrico pelo Decreto-Lei 306/2007 de 27 de Agosto, definiu-se a zona afectada, ou seja, a zona a ser estudada durante a realização deste trabalho. De seguida, identificaram-se as nascentes onde é captada a água para consumo da zona afectada (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos). Recorrendo novamente aos dados fornecidos pela entidade gestora (Praia Ambiente E.M.), bem como a outras fontes de informação, caracterizaram-se as nascentes indicando o seu nome, as zonas de abastecimento afectas a cada nascente, a população



abastecida (número de habitantes em 2011), outras origens de água que contribuem para as zonas de abastecimento, o caudal e a altitude das nascentes.

Em resposta à segunda questão, apresenta-se, em forma de gráfico, o padrão de fluoretos encontrado para cada nascente, expondo dados como o máximo, o mínimo, o percentil 25, o percentil 75 e a média. Estes mesmos dados são apresentados novamente de forma mais detalhada, mostrando a variação dos fluoretos em cada uma das nascentes, para o período em estudo. Ainda neste contexto, é apresentada uma imagem com a distribuição geográfica das nascentes por teor de fluoretos, mais especificamente pelo valor médio registado no período de estudo.

De forma a responder à última pergunta do grupo da qualidade da água, começou-se por avaliar o efeito da precipitação. Para avaliar se os anos em questão eram húmidos ou secos comparou-se a precipitação observada e a precipitação normal, bem como a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada para cada um dos anos em estudo. De seguida, comparou-se a precipitação observada no período dos cinco anos (tendo em conta os resultados obtidos no ponto anterior) com o teor de fluoretos encontrado em cada uma das nascentes, para o mesmo período de tempo, com o objectivo de determinar a influência dos factores do meio ambiente na concentração de fluoretos encontrada nas captações. Para avaliar o efeito dos materiais rochosos na composição da água estudou-se a hidrogeologia da área de recarga das nascentes. Começou-se, neste aspecto, por fazer o enquadramento geológico das nascentes, localizando-as geograficamente pelo maciço estrutural a que pertencem. De seguida compararam-se os teores de fluoreto encontrados nas nascentes dos diferentes maciços com os teores de fluoreto das nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos). Para tal, calcularam-se o mínimo, a média e o máximo das nascentes por maciço (Cinco Picos, Guilherme Moniz, Santa Bárbara, Guilherme Moniz-Pico Alto) e esses resultados foram comparados com o mínimo, média e máximos das quatro nascentes em estudo. Os resultados obtidos mostram que a litologia tem influência sobre o teor de fluoretos que existe nas nascentes. Foi ainda, neste contexto, apresentado um gráfico com o padrão de fluoretos encontrado nos diferentes maciços, bem como um mapa com o enquadramento geológico das nascentes das Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos.

No segundo grupo, saúde pública, houve apenas uma pergunta importante a ser respondida:



- 1) Nas zonas afectadas verificaram-se prejuízos na saúde pública associados à ingestão dessa água?

Para poder avaliar as consequências já existentes foi necessário saber junto do Centro de Saúde da Praia da Vitória se haviam alguns registos médicos de fluorose dentária. Obtendo uma resposta negativa por parte do Centro de Saúde, foi elaborada uma proposta de metodologia para a avaliação da fluorose dentária, com base em estudos realizados nos EUA por Dean (1942) e por Horowitz *et al.* (1967). Uma vez que a configuração do sistema de abastecimento do concelho da Praia da Vitória foi sofrendo modificações ao longo do tempo, pretendia-se escolher uma população que tivesse utilizado o sistema tal como ele existe na actualidade. Para o efeito seleccionou-se uma amostra de crianças de 9-12 anos, que corresponde também à idade de dentição definitiva.

Assim, para que um rastreio de fluorose dentária pudesse ser realizado, foi necessária a colaboração e autorização quer do Centro de Saúde da Praia da Vitória, como da Escola Básica Integrada (EBI) da Praia da Vitória. A escolha da escola esteve relacionada com a amostra necessária, pois esta é a escola principal do concelho que tem alunos com as idades requeridas. O apoio do Centro de Saúde recaiu sobre a autorização da participação de profissionais de saúde da especialidade (um médico estomatologista) para fazer os exames às crianças e registar o seu grau de fluorose. Para tal, a orientadora do seguinte trabalho entrou em contacto com os responsáveis pelo programa de Saúde Escolar da Escola Básica Integrada da Praia da Vitória no Centro de Saúde, de forma a perceber como eram realizados os rastreios na escola e qual a sua disponibilidade em fazer um rastreio deste tipo. Após contacto, revelou-se disponibilidade por parte dos profissionais e foi também recebida a informação da necessidade de ser feito um pedido de autorização oficial por parte da Universidade dos Açores à administração do Centro de Saúde da Praia da Vitória, para serem vistas questões de agenda (data mais adequada) e de libertação de meios logísticos para a realização do rastreio. Neste âmbito, a Universidade elaborou um ofício a pedir a colaboração do Centro de Saúde para a realização do rastreio. Por outro lado, também em contacto realizado pela orientadora do trabalho, foi marcada uma reunião com o professor responsável pela Saúde Escolar da Escola Básica Integrada da Praia da Vitória para ser apresentado o objectivo do estudo e perceber a disponibilidade da escola. Nesta reunião, foi determinada a necessidade de se contactar a escola com 10 dias úteis de antecedência à realização do rastreio, para esta proceder à escolha dos alunos, informar os professores da escola, bem como pedir as



autorizações aos pais dos alunos escolhidos para o rastreio. O rastreio foi realizado no âmbito do programa de Saúde Escolar da Escola Básica Integrada da Praia da Vitória, pelo médico dentista e enfermeiras que trabalham neste programa, com autorização do Centro de Saúde da Praia da Vitória, e supervisionado por uma funcionária da escola.

O rastreio desenrolou-se no início da terceira semana de aulas do ano lectivo 2013/2014 (segunda-feira, 30 de Setembro), pelas 9:30H, após o toque de entrada. A amostra inicial seria de 60 alunos, porém devido à falta de alguns alunos naquele dia de aulas, a amostra final constou de 56 alunos. Estes foram escolhidos pela EBI, com idades compreendidas entre os 9 e os 12 anos, frequentando o 5º, 6º e 7º anos de escolaridade e residentes nas freguesias da Agualva, Vila Nova e São Brás (freguesias seleccionadas devido aos teores de fluoreto na água de abastecimento); à escolha desta faixa etária associaram-se duas condições importantes para a selecção das crianças: tenham residido sempre nas freguesias da Agualva, Vila Nova e São Brás, e que a água proveniente da rede pública constitua a fonte maioritária de água consumida. De forma a observar as crianças, estas foram sentadas numa cadeira normal, de frente para o médico dentista, igualmente sentado, sob a incidência de luz natural. Cada observação foi registada numa folha com a arcada dentária de leite e definitiva, onde foram assinaladas as classificações atribuídas a cada dente, de acordo com a escala apresentada na tabela 4 e ilustrada na figura 1. O médico examinou as crianças com um espelho de boca e um foco de luz, utilizado como auxílio à luz natural. Uma das duas enfermeiras que acompanharam o médico dentista tinha a lista dos alunos a ser examinados, enquanto a outra enfermeira ficou responsável pelo registo dos resultados.

O rastreio procedeu-se da seguinte forma: a enfermeira com a lista dos alunos começou por perguntar o nome da criança, a sua idade e a sua freguesia de origem, informações que foram colocadas na folha de registo pela outra enfermeira, bem como o sexo da criança e o número da observação. De seguida, o médico dentista verificou se a criança ainda tinha dentição de leite e indicava à enfermeira encarregue pelo registo quais eram os dentes de leite e quais os definitivos, para serem assinalados na arcada dentária. Por fim, o médico dentista analisou o grau de fluorose dente a dente, ditando os seus resultados novamente para serem registados pela enfermeira. O rastreio foi apenas realizado nas horas de aula, com o regresso imediato dos alunos às suas respectivas salas de aulas após o exame. Depois de cada examinação, o médico dentista limpou o espelho de boca com um toalhete húmido e enxugou com um guardanapo seco; o espelho de boca, bem como as luvas utilizadas



pelo médico foram trocadas regularmente, sendo colocadas num caixote do lixo localizado ao lado da cadeira do médico dentista, para este tipo de desperdício.

O índice de fluorose dentária foi posteriormente calculado para cada criança com base na condição dos dois piores dentes – uma criança que apresentasse 1 dente com grau 5 de fluorose, 3 dentes com grau 4 e 5 dentes com grau 3, é classificada como índice de fluorose de 4.



## 4. Caracterização do caso de estudo

### 4.1 – Determinação da zona afectada por elevadas concentrações de fluoreto na torneira

No concelho da Praia da Vitória existem nove zonas de abastecimento (Aqualva, Vila Nova, Biscoitos, Quatro Ribeiras, São Brás, Fontinhas, Lajes/Santa Luzia/Juncal, Porto Martins/Fonte Bastardo/Cabo da Praia e Santa Cruz), todas elas influenciadas por diferentes nascentes e furos existentes por todo o concelho. De forma a poder definir as zonas de abastecimento que devem ser estudadas durante este trabalho é necessário avaliar o teor de fluoretos na torneira em cada uma delas. Esta análise permitirá verificar quais as áreas do concelho que registaram um teor de fluoretos superior ao valor paramétrico de 1,5 mg/L, e assim definir qual a zona a estudar.

Os valores apresentados na tabela 8 foram obtidos com base nos resultados dos Planos de Controle da Qualidade da Água (PCQA), no que respeita à concentração de Fluoreto nas 9 zonas de abastecimento do concelho da Praia da Vitória durante cinco anos (2008-2012).

**Tabela 8** – Análise do teor de fluoretos (mg/L) na torneira, por zona de abastecimento (2008-2012)

Zona de Abastecimento	N (nº amostras)	Mín. (mg/L)	Máx. (mg/L)	Média (mg/L)	Mediana (mg/L)
Biscoitos	7	1,3	1,9	1,5	1,45
Aqualva	3	1,7	3,6	2,7	2,8
Quatro Ribeiras	4	0,3	0,5	0,4	0,4
Vila Nova	4	1,1	3	1,73	1,4
São Brás	3	1,4	3,4	2,1	1,5
Lajes/Santa Luzia/Juncal	4	0,2	1,9	1	0,9
Fontinhas	4	0,2	0,2	0,2	0,2
P.Martins/F.Bastardo/C. Praia	4	0,3	0,5	0,4	0,4
Santa Cruz	9	0,1	1,1	0,45	0,4



Embora os documentos apresentem dados trimestrais, é importante referir que o parâmetro fluoreto, visto fazer parte do controlo de inspecção que, segundo o Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto, tem como objectivo obter as informações necessárias para verificar o cumprimento dos valores paramétricos do decreto-lei em questão, não apresenta dados em todos os trimestres, para todas as zonas de abastecimento. Isto indica que os resultados obtidos podem não ser representativos do teor de fluoretos em cada zona de abastecimento.

Na tabela 8 começa-se por apresentar o número de amostras de cada zona de abastecimento, ou seja, o número de análises feitas ao parâmetro fluoreto pela entidade gestora em cada uma das zonas, para o período em estudo. Verifica-se que a maior frequência de amostragem está associada às zonas com maior população, e que a maioria das zonas de abastecimento apenas analisou os fluoretos 3 vezes em 5 anos. Os resultados analíticos deste parâmetro são apresentados com os valores mínimos e máximos obtidos, seguindo-se a média de cada zona de abastecimento e a mediana.

Observando os resultados da tabela 8, verifica-se que cinco das zonas de abastecimento possuem valores máximos superiores ao valor paramétrico, sendo estas Biscoitos, Agualva, Vila Nova, São Brás e Lajes/Santa Luzia/Juncal, com valores máximos de 1,9 mg/L, 3,6 mg/L, 3 mg/L, 3,4 mg/L e 1,9 mg/L, respectivamente. Para estas mesmas zonas, apenas a zona da Agualva apresenta valor mínimo superior ao valor paramétrico. Os valores médios indicam as zonas de abastecimento onde será desenvolvido o estudo (figura 7), e que serão Agualva, Vila Nova e São Brás cujo valor médio é superior ao paramétrico (2,7 mg/L, 1,73 mg/L e 2,1 mg/L, respectivamente), tendo a sua mediana valores relativamente próximos (2,8 mg/L, 1,4 mg/L e 1,5 mg/L).

As zonas de abastecimento de Quatro Ribeiras, Fontinhas, Porto Martins/Fonte Bastardo/Cabo da Praia e Santa Cruz, destacam-se pela situação inversa, apresentam teores reduzidos de fluoretos, com os valores máximos (0,5 mg/L, 0,2 mg/L, 0,5 mg/L e 1,1 mg/L, respectivamente) e mínimos (0,3 mg/L, 0,2 mg/L, 0,3 mg/L e 0,1 mg/L, respectivamente) muito próximos nas três primeiras zonas de abastecimento.

O valor da média e da mediana poderiam avaliar a distribuição dos valores quanto à sua simetria, no entanto dado o reduzido n.º de observações para a maioria das zonas de abastecimento não se justifica fazer essa análise. No caso de Santa Cruz (N=9) e dos Biscoitos (N=7) verifica-se que a distribuição é quase simétrica dado que os valores da média e mediana



serem quase iguais. A maior variação encontrada, tendo em conta o máximo e o mínimo, é para a zona de Santa Cruz, com uma diferença de 1 mg/L entre estes. Tanto a média (Quatro Ribeiras – 0,4 m/l; Fontinhas – 0,2 mg/L; Porto Martins/Fonte Bastardo/Cabo da Praia – 0,4 mg/L; Santa Cruz – 0,45 mg/L) como a mediana (Quatro Ribeiras – 0,4 m/l; Fontinhas – 0,2 mg/L; Porto Martins/Fonte Bastardo/Cabo da Praia – 0,4 mg/L; Santa Cruz – 0,4 mg/L) encontrada para cada uma destas zonas são inferiores a 1 mg/L. Este facto, associado ao máximo e mínimo encontrado, são indicadores de que nestas zonas de abastecimento o valor paramétrico de 1,5 mg/L pelo DL 306/2007 de 27 de Agosto não é ultrapassado na água da torneira, pelo que estas zonas não se encontram afectadas por elevadas concentrações de fluoreto na sua água de consumo.



**Figura 7** – Freguesias que compõem a zona em estudo (zona afectada por teores elevados de fluoretos na água da torneira)

(Fonte: [http://www.snpcultura.org/fotografias/vol\\_mapa\\_ilha\\_terceira\\_390px.jpg](http://www.snpcultura.org/fotografias/vol_mapa_ilha_terceira_390px.jpg))



## 4.2 – Nascentes que abastecem a zona afectada

**Tabela 9** – Informações sobre as nascentes em estudo

Nascente	Localização <sup>2</sup>	Zona de Abastecimento <sup>1</sup>	População abastecida (hab.; 2012) <sup>1</sup>	Outras origens que contribuem para a ZA <sup>1</sup>	Caudal (l/s; Setembro de 1998) <sup>2</sup>	Altitude (m) <sup>2</sup>
<b>Frechas</b>	Aqualva	Aqualva, Vila Nova, São Brás, Lajes/Santa Luzia/Juncal, Fontinhas	10733	Alagoa, Burra, Furo das Covas, Furo do Barreiro	1-2 l s <sup>-1</sup>	240
<b>Burra</b>	Aqualva	São Brás, Lajes/Santa Luzia/Juncal, Fontinhas	7625	Frechas, Furo das Covas, Furo do Barreiro	<1 l s <sup>-1</sup>	510
<b>Gaiteiro</b>	Biscoitos	Caparica dos Biscoitos	424	-	2-4 l s <sup>-1</sup>	310
<b>Rolo dos Moinhos</b>	Biscoitos	Biscoitos	990	-	1-2 l s <sup>-1</sup>	0

Fontes: <sup>1</sup>Bettencourt (2013a); <sup>2</sup>Rodrigues (2002).

Na tabela 9 encontram-se apresentadas as nascentes que abastecem a zona afectada, definida no ponto anterior, representando estas as nascentes a estudar ao longo deste trabalho. A maioria das informações apresentadas (nome, zonas de abastecimento associadas, população abastecida e outras origens de água que contribuem para a zona de abastecimento) foram cedidas pela entidade gestora (Praia Ambiente, E.M.), enquanto a localização, o caudal e a altitude foram retiradas de Rodrigues (2002). Visto que o caudal de uma nascente pode se alterar com o passar dos anos, é importante referir que os caudais aqui apresentados foram medidos entre Fevereiro e Setembro de 1998, por Rodrigues (2002). Estes dados foram utilizados pois não foi possível fazer uma nova medição dos caudais durante a realização deste trabalho.

Observando os dados expostos na tabela, verifica-se que a nascente das Frechas, localizada na freguesia da Aqualva, tem a maior zona de abastecimento, constituída pelas freguesias da Aqualva, Vila Nova, São Brás, Lajes/Santa Luzia/Juncal e Fontinhas, encontrando-se, até ao ano de 2012, a abastecer uma população total de 10733 habitantes. Esta nascente encontra-se a 240 metros de altitude e possui um caudal de 1 a 2 l/s; a água que é distribuída às diferentes freguesias tem ainda o contributo de mais duas nascentes (nascente da Alagoa e



da Burra) e de mais dois furos (Furo das Covas e Furo do Barreiro). Por sua vez, a nascente da Burra abastece o segundo maior número de habitantes, sendo este 7625 até ao ano de 2012. Esta nascente, tal como a das Frechas, também se localiza na freguesia da Aqualva, só que a uma altitude de 510 metros. Possui um caudal inferior a 1 l/s, a sua zona de abastecimento é constituída pelas freguesias de São Brás, Lajes/Santa Luzia/Juncal e Fontinhas, e recebe o contributo de outras origens de água, como a nascente das Frechas, o Furo das Covas e o Furo do Barreiro. Já nascente do Gaitero abastece apenas a zona da Caparica dos Biscoitos, servindo uma população de 424 habitantes. Esta encontra-se a 310 metros de altura e possui um caudal de 2 a 4 l/s, sendo a única origem de água a abastecer esta zona da freguesia. Por último, tem-se a nascente do Rolo dos Moinhos que abastece as restantes zonas da freguesia dos Biscoitos. Esta serve uma população de 990 habitantes, possui um caudal de 1 a 2 l/s, encontra-se a uma altitude de zero metros e também é a única origem de água a contribuir para a sua zona de abastecimento.

De uma forma geral, as nascentes responsáveis pelo abastecimento da zona afectada (Biscoitos, Aqualva, Vila Nova, São Brás e Lajes/Santa Luzia/Juncal), pertencem à freguesia da Aqualva (Frechas e Burra) e à freguesia dos Biscoitos (Gaitero e Rolo dos Moinhos), abastecendo grande parte das freguesias do concelho da Praia da Vitória. Estas nascentes encontram-se a servir actualmente uma população total de 12147 habitantes, os seus caudais variam entre <1 l/s e 2 a 4 l/s e encontram-se a altitudes diferentes umas das outras (Frechas – 240 metros; Burra – 510 metros; Gaitero – 310 metros e Rolo dos Moinhos – 0 metros).

### 4.3 – Enquadramento geológico das nascentes

A ilha Terceira apresenta um grande número de nascentes, estando inventariadas 221, o que equivale a 0,55 emergências por cada km<sup>2</sup> de área plana. Estas distribuem-se pelos seus três grandes maciços estruturais, Cinco Picos, Guilherme Moniz e Santa Bárbara, e pela zona de transição, desde o nível do mar até aos 930 metros de altitude (Rodrigues, 2002). O maciço dos Cinco Picos, localizado no terço oriental da Terceira, ocupa aproximadamente 151,1 km<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 37,6% da superfície plana insular. Constitui a estrutura emersa mais antiga da ilha, sendo por isso aquela onde se fizeram sentir mais os efeitos erosivos. É igualmente o



estratovulcão<sup>10</sup> mais trabalhado por mecanismos tectónicos, responsáveis pelos traços dominantes da sua morfologia (Rodrigues, 2002). Do ponto de vista estrutural, este maciço apresenta-se extremamente fracturado, englobando uma série alterada de elevações alongadas e zonas deprimidas, associadas a movimentos verticais positivos e negativos de origem tectónica e vulcanotectónica. De nordeste para sudeste, esta sucessão de formas é constituída pela Serra de Santiago, *graben* das Lajes, Serra do Cume, caldeira dos Cinco Picos, serra da Ribeirinha e depressão da Grotta do Vale (Rodrigues, 2002). O maciço de Guilherme Moniz, localizado no terço central da ilha, é um vasto complexo vulcânico, de relevo movimentado, com aproximadamente 91 km<sup>2</sup> de área. Estruturalmente comporta um grande estratocone, constituído por sobreposição de domos, escoadas e depósitos piroclásticos, encimados pela caldeira de Guilherme Moniz. Esta estrutura de subsidência, de grandes dimensões à escala regional, apresenta a metade norte preenchida por materiais pós-caldeira de natureza traquítica, emitidos pelo Centro Vulcânico do Pico Alto (Rodrigues, 2002). Este ocupa todo o sector norte da caldeira de Guilherme Moniz e grande parte das vertentes norte do estratovulcão. As suas formas mais proeminentes encontram-se associadas aos domos do Pico Alto (808 metros), Criação da Rocha (692 metros) e Biscoito Rachado (789 metros) e ainda aos domos-escoada do Pico das Pardelas, da Quinta da Madalena, do Boi e da Terra Brava. Do ponto de vista geomorfológico, este maciço engloba três tipos de formas distintas, que definem as vertentes exteriores do primitivo aparelho vulcânico, a estrutura de subsidência e ainda as escorrências lávicas recentes dispostas no interior da caldeira e nas vertentes exteriores (Rodrigues, 2002). O maciço de Santa Bárbara, localizado no terço oeste da ilha Terceira, ocupa aproximadamente 104, 5 km<sup>2</sup>, ou seja, cerca de 26% da área plana da ilha corresponde a um grande estratocone, no topo do qual se desenvolve uma caldeira de duplo abatimento. Os principais traços geomorfológicos deste maciço resultaram do rápido processo de crescimento do estratocone principal, o qual assentou na deposição e consolidação de escoadas e depósitos piroclásticos basálticos emitidos, quase continuamente, a partir de um centro emissor central (Rodrigues, 2002). Por sua vez, a zona de transição, limitada a leste pelo maciço de Guilherme Moniz e a oeste pelo de Santa Bárbara, é constituída por um planalto central, disposto no interior da ilha, que se desenvolve para norte e sul em anfiteatro até ao mar. De um modo geral, esta unidade geomorfológica apresenta um micro-relevo acentuado,

---

<sup>9</sup> Estratovulcão – Os estratovulcões constituem a forma vulcânica mais característica da paisagem açoriana, dando corpo a grande parte das ilhas de S. Miguel, Terceira, Faial, Pico e Corvo. Apresentam-se constituídos por sobreposição de escoadas lávicas e materiais piroclásticos, exibindo morfologias que resultam de processos acrescivos verticais e laterais associados a emissões vulcânicas centrais (Rodrigues, 2002).



sendo essencialmente constituída pela sobreposição de estruturas e por materiais basálticos recentes emitidos pelos numerosos cones estromblianos que a pontilham (Rodrigues, 2002).

A maior parte das nascentes da ilha Terceira ocorre nos maciços dos Cinco Picos e de Guilherme Moniz, sendo a zona de transição a que menor número de pontos de água apresenta. Esta heterogeneidade espacial expressa diferenciações significativas na hidrogeologia de cada uma destas unidades (Rodrigues, 2002). A maioria das nascentes dispõem-se nos flancos superiores e intermédios das vertentes dos grandes estratovulcões: no de Santa Bárbara a principal concentração ocorre nas vertentes oeste e noroeste, na zona da Serreta, Raminho e Altares, enquanto no dos Cinco Picos tendem a dispor-se na vizinhança da escarpa de falha das Fontinhas. No maciço de Guilherme Moniz estas tendem a alinhar-se ao longo de fracturas no sector sul e de uma forma dispersa no norte (Rodrigues, 2002). De acordo com as características do aquífero drenado e a sua localização, as nascente insulares podem organizar-se em dois grandes grupos: as de base, dispostas a uma cota igual ou inferior ao nível do mar e associadas ao aquífero de base, e as superiores, distribuídas por cotas mais elevadas e drenando aquíferos suspensos (Rodrigues, 2002). Associados ao aquífero de base surgem 16 grupos de nascentes, algumas com certo termalismo, na base de escoadas traquíticas e em depósitos de praia, sendo a maior parte apenas visível durante a baixa-mar (LNEC, 1997). Associadas aos restantes aquíferos, entre 5 e 540 metros de altitude, surgem todos os outros restantes grupos de nascentes. Na sua maioria surgem associadas às interfaces entre escoadas traquíticas de Guilherme Moniz e depósitos piroclásticos muito alterados ou paleossolos almagrizados. Algumas nascentes, que são as de maior caudal, surgem na interface entre escoadas de basaltos superiores e paleossolos, associadas a tubos de lava de considerável extensão (LNEC, 1997). Um reduzido número de nascentes (sete) surge no contacto entre basaltos superiores e ignimbritos inferiores, apresentando caudais de estiagem muito baixos. Outras sete nascentes surgem no contacto entre a formação de brecha dos Biscoitos e os traquitos de Guilherme Moniz, na sua maioria ao longo da ribeira da Agualva, e tendo caudais relativamente elevados. Uma nascente surge no contacto entre estas formações traquíticas e depósitos ignimbríticos de Angra (LNEC, 1997).

Tendo em conta as altitudes das nascentes em estudo, é possível dizer que as nascentes das Frechas, Burra e Gaiteiro são nascentes superiores, associadas a aquíferos suspensos, enquanto a nascente do Rolo dos Moinhos é uma nascente de base, associada a um aquífero basal. As nascentes das Frechas, Burra e Gaiteiro, por serem nascentes superiores



podem ainda ser classificadas quanto ao seu enquadramento geomorfológico e hidrogeológico. Segundo Rodrigues, (2013b), as nascentes que abastecem a zona afectada podem ser de arriba ou periféricas a escoadas lávicas. A ocorrência das nascentes de arriba deve-se ao facto dos horizontes aquíferos serem cortados por superfícies topográficas de inclinação superior às linhas de escoamento hídrico, nomeadamente por escarpas ou depressões de origem tectónica, erosiva ou mista (Rodrigues, 2002). No caso das nascentes em estudo, a probabilidade recai sobre serem nascentes de natureza erosiva (Rodrigues, 2013b), onde as principais superfícies topográficas deste tipo são constituídas por talvegues de cursos de água e arribas litorais. Por sua vez, as nascentes que ocorrem nos limites de escoadas lávicas resultam da presença de aquíferos suspensos associados a aquípardos<sup>11</sup> que se desenvolvem em derrames lávicos (Rodrigues, 2002).

No que toca à concentração de fluoretos na água, esta varia de forma diferente nas diversas nascentes da ilha Terceira, devido a um distinto número de factores. Na tabela 10, apresentada abaixo, encontram-se a média, o máximo e mínimo dos teores de fluoretos de todas as nascentes, agrupadas pelos seus maciços estruturais (Cinco Picos, Guilherme Moniz, Santa Bárbara e Guilherme Moniz-Pico Alto), de forma a ser possível localizar as nascentes em estudo pelo maciço em que se encontram. É importante referir que estas concentrações de fluoreto foram obtidas em análises realizadas antes de 1993, ano de publicação do trabalho de onde foram retirados os dados (Lobo, 1993).

**Tabela 10** – Teor de fluoreto (mg/L) nas nascentes da ilha Terceira por maciços estruturais

	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Nº de observações</b>
<b>Cinco Picos</b>	0,1	0,30	1,3	54
<b>Guilherme Moniz</b>	0	0,72	1,6	75
<b>Sta. Bárbara</b>	0	0,24	0,7	71
<b>Guilherme Moniz-Pico Alto</b>	1,3	2,22	3,8	38
<b>Nascente das Frechas</b>	1,5	2,84	4,3	57
<b>Nascente da Burra</b>	0,4	1,5	2,5	57
<b>Nascente do Gaiteiro</b>	0,4	1,55	1,9	44
<b>Nascente do Rolo dos Moinhos</b>	1,1	1,46	1,7	43

<sup>10</sup> Aquícardo – São materiais ou rochas porosas que, embora armazenem quantidades significativas de água no seu interior, permitem a circulação apenas de forma muito lenta (Quaresma, [s.d.]).

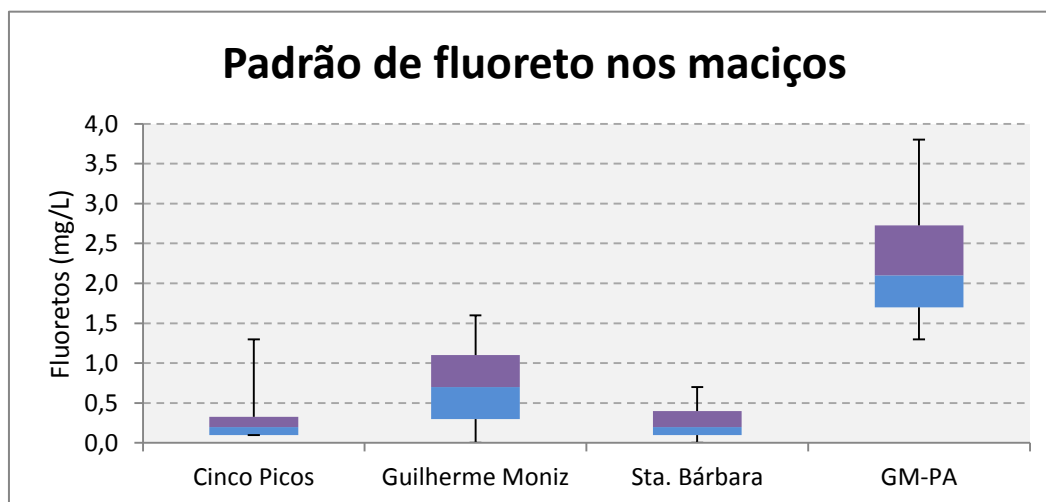


Como é possível observar pelos dados apresentados na tabela, as concentrações de fluoreto nas nascentes associadas ao maciço dos Cinco Picos são inferiores ao valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto, tendo como valor máximo 1,3 mg/L. A média para estas nascentes é de 0,3 mg/L, enquanto o mínimo é de 0,1 mg/L, ambos valores que não representam problemas a nível do teor de fluoreto na água. Já as nascentes associadas ao maciço de Guilherme Moniz, apesar do seu mínimo ser zero, a sua concentração média, bem como o seu valor máximo são maiores que as concentrações encontradas nas nascentes dos Cinco Picos, sendo de 0,72 mg/L e 1,6 mg/L, respectivamente. O máximo para as nascentes de Guilherme Moniz é ligeiramente superior ao valor paramétrico, porém não o suficiente para que seja um valor, de facto, preocupante. Para as nascentes associadas ao maciço de Santa Bárbara, tem-se que o seu mínimo é igual ao das nascentes de Guilherme Moniz, sendo zero, enquanto a sua média e máximo possuem valores mais baixos que as nascentes dos dois primeiros maciços, sendo de 0,24 mg/L e 0,7 mg/L, respectivamente. As nascentes do maciço de Santa Bárbara, dado às concentrações encontradas, não representam nenhuma preocupação quanto ao teor de fluoreto na água. No que toca às nascentes associadas ao maciço de Guilherme Moniz-Pico Alto, já se verificam grandes diferenças quanto às concentrações obtidas nas restantes nascentes. Para estas nascentes, o mínimo encontrado foi de 1,3 mg/L, a média de 2,22 mg/L e o máximo de 3,8 mg/L, estes dois últimos valores ultrapassando claramente o valor paramétrico de 1,5 mg/L. Apesar do número de observações ter sido relativamente menor em comparação com o que aconteceu nos outros maciços, é possível dizer que estas nascentes estão associadas a elevadas concentrações de fluoretos na água.

Quanto às nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos), observando o mínimo, a média e máximo de cada uma delas, é possível verificar-se que estes assemelham-se ao que acontece com as nascentes associadas ao maciço de Guilherme Moniz-Pico Alto. Apesar da diferença de idade entre os dados, observa-se que os valores máximos das nascentes em estudo são sempre superiores ao valor paramétrico, bem como, por vezes, o seu valor médio, tal como acontece para as nascentes deste maciço. O valor mínimo das nascentes do Gaiteiro e da Burra não são tão parecidos com as nascentes de Guilherme Moniz-Pico Alto, contudo os seus restantes valores conseguem associá-las ao que acontece neste maciço. Pelo que, tem-se então que as nascentes em estudo localizam-se no maciço de Guilherme Moniz-Pico Alto, as suas concentrações de fluoreto revelando-se semelhantes às nascentes associadas a este maciço. Estes resultados também revelam que as nascentes presentes no



maciço de Guilherme Moniz-Pico Alto são as mais importantes a serem estudadas a nível de fluoretos, justificando a importância da escolha das nascentes em estudo. De forma a resumir os resultados obtidos, o gráfico seguinte mostra o padrão de fluoreto das nascentes da ilha Terceira, por maciço estrutural.



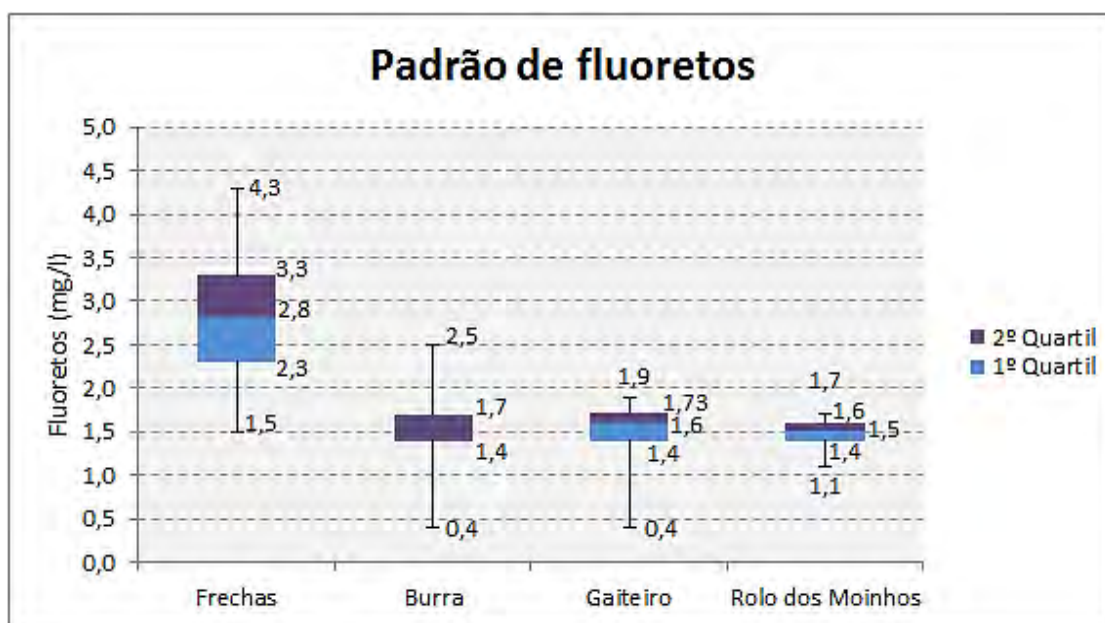
**Gráfico 1** – Padrão de fluoretos (mg/L) pelos maciços da Ilha Terceira

Como se pode observar pelo gráfico, de uma forma geral, as nascentes associadas aos maciços dos Cinco Picos e Santa Bárbara têm concentrações de fluoreto baixas, não chegando aos 1,5 mg/L, enquanto as nascentes associadas ao maciço de Guilherme Moniz possuem concentrações um pouco mais elevadas, porém não em valores considerados preocupantes para a saúde pública. Por sua vez, as nascentes associadas ao maciço de Guilherme Moniz-Pico Alto destacam-se claramente das restantes, com concentrações muito superiores ao valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto.



#### 4.4 – Padrão de fluoretos nas nascentes

Para determinar o padrão de fluoretos nas nascentes em estudo, recorreu-se novamente ao uso do diagrama de extremos e quartis, também conhecido por caixa de bigodes. Para tal, calcularam-se o mínimo, o percentil 25, a mediana, o percentil 75 e o máximo, relativos ao teor de fluoretos encontrado em cada uma das nascentes que abastecem a zona afectada, para o período em estudo. Os dados relativos às concentrações de fluoreto nas nascentes foram medidos pela entidade gestora (Praia Ambiente, E.M.). O gráfico 2, abaixo apresentado, demonstra o comportamento dos fluoretos e a relação entre os valores calculados.



**Gráfico 2** – Padrão de fluoretos das nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro, Rolo dos Moinhos)



Observando os dados presentes no gráfico, verifica-se que para a nascente das Frechas 25% das concentrações de fluoreto são iguais ou inferiores a 2,3 mg/L, enquanto as outras 25% são superiores ou iguais a 3,3 mg/L. Por sua vez, 50% das concentrações estão compreendidas entre 2,3 mg/L e 3,3 mg/L, o que, em conjunto com os dados superiores ao percentil 75 (3,3 mg/L), mostra que a maioria das concentrações de fluoreto nesta nascente ultrapassa o valor paramétrico. Tendo em conta a linha da mediana, tem-se que os dados centrais para esta nascente são simétricos, não havendo enviesamento quer baixo, como para cima. Já as linhas adjacentes aos retângulos possuem comprimentos diferentes, havendo um enviesamento para cima, mostrando que os dados se encontram mais dispersos na parte superior. No que toca à representação da nascente da Burra, esta demonstra uma situação de extremo enviesamento, pois o diagrama de extremos e quartis é pouco claro, devido a não se visualizar a linha da mediana. Esta, como é possível observar, confunde-se com o 1º quartil (valor equivalente ao percentil 25), existindo um enviesamento para cima nos 50% dos dados centrais, estando assim os dados mais dispersos nesta zona do gráfico. Por outro lado, tendo em conta o comprimento das linhas, verifica-se um ligeiro enviesamento para baixo, mostrando que os dados estão menos concentrados na parte inferior. Nesta nascente observa-se ainda que 25% das concentrações de fluoreto são iguais ou menores a 1,4 mg/L, enquanto 25% destas são iguais ou superiores a 1,7 mg/L.

Na nascente do Gaiteiro é possível observar o mesmo enviesamento nas linhas que o da nascente da Burra, onde os dados estão mais dispersos na parte inferior e, pelo contrário, mais concentrados na parte superior. Quanto às concentrações de fluoreto, 25% são inferiores ou iguais a 1,4 mg/L, enquanto 25% são maiores ou iguais a 1,73 mg/L, novamente semelhante ao que aconteceu na nascente da Burra. Por sua vez, 50% das concentrações estão entre 1,4 mg/L e 1,73 mg/L, havendo um enviesamento para baixo nos dados centrais. O curto comprimento da linha referente aos dados superiores mostra ainda que as concentrações de fluoreto não variaram muito entre 1,73 mg/L e o seu valor máximo, de 1,9 mg/L. Também esta nascente, como a nascente da Burra, apresenta concentrações de fluoreto superiores ao valor paramétrico. Por último, para a nascente do Rolo dos Moinhos 25% das concentrações de fluoreto são menores ou iguais a 1,4 mg/L, enquanto 25% destas são iguais ou superiores a 1,6 mg/L, havendo um ligeiro enviesamento das linhas direccionado para baixo. Tem-se também que 50% das concentrações encontram-se entre 1,4 mg/L e 1,6 mg/L, pelo que o teor de fluoretos não varia muito nesta nascente. Na parte central dos dados, tendo em conta a linha da mediana, verifica-se simetria entre estes, como aconteceu na nascente das Frechas. De uma



forma geral, as concentrações de fluoreto não variam muito na nascente do Rolo dos Moinhos (mínimo de 1,1 mg/L e máximo de 1,7 mg/L), não diferindo também muito do valor paramétrico de 1,5 mg/L.

Para as nascentes em estudo é possível dizer que todas possuem um padrão contínuo, pois nenhuma delas apresentou um valor que não estivesse compreendido entre o intervalo estabelecido pelo máximo e mínimo. O padrão contínuo para o período em estudo varia individualmente em cada nascente, sendo apenas semelhante entre as nascentes do Gaiteiro e da Burra. As concentrações de fluoreto não variam muito entre o seu máximo e mínimo no caso das nascentes do Gaiteiro e do Rolo dos Moinhos, o contrário sendo observado nas nascentes da Burra e das Frechas, onde a variação é maior.

#### 4.5 – Variação de fluoretos ao longo do tempo nas nascentes

De forma a obter uma análise mais detalhada do comportamento e variação dos fluoretos em cada uma das nascentes, representou-se, em forma de gráfico, o teor de fluoretos ao longo do período de tempo em estudo (de Janeiro de 2008 a Dezembro de 2012), utilizando como método de comparação os valores do percentil 25, da média e do percentil 75 referentes a cada nascente. É importante referir que os dados aqui utilizados são os mesmos que os que foram usados para estabelecer o padrão dos fluoretos, no ponto anterior.

##### 4.5.1 – Nascente das Frechas

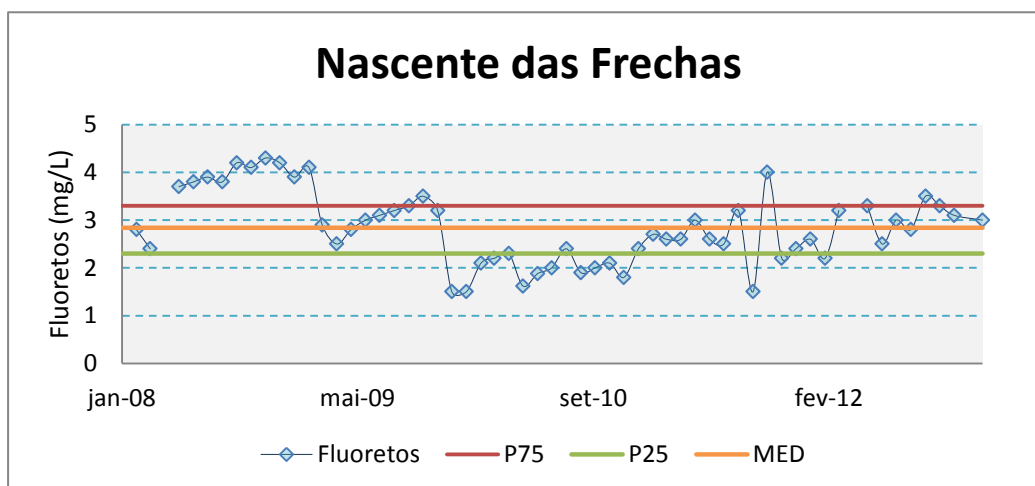
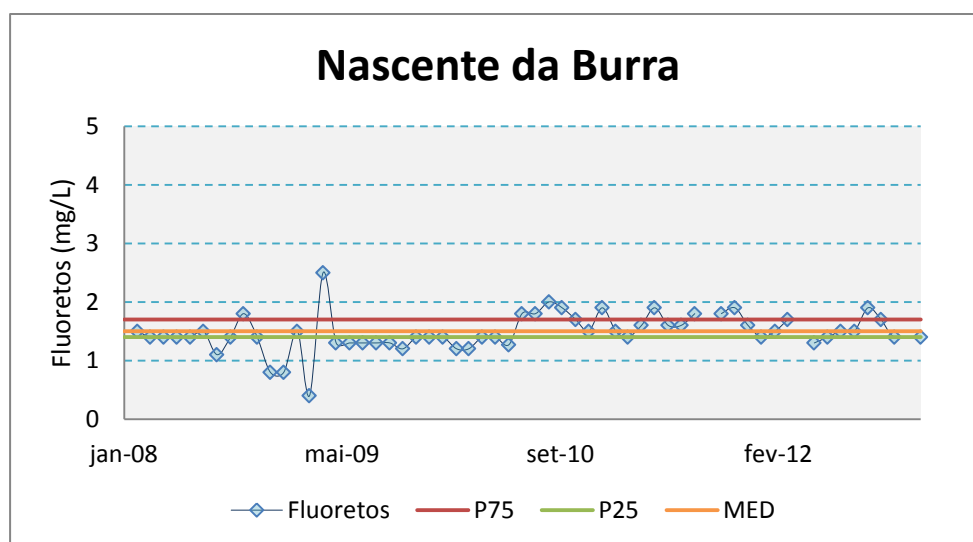


Gráfico 3 – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente das Frechas



Observando os dados presentes no gráfico 3, é possível verificar que a nascente das Frechas variou muito ao longo dos últimos cinco anos, apresentando concentrações máximas de fluoreto acima dos 4 mg/L (máximo de 4,3 mg/L no mês de Novembro de 2008 e 4 mg/L a Outubro de 2011), enquanto o menor valor obtido não passou dos 1,5 mg/L (Dezembro de 2009, Janeiro de 2010, e Setembro de 2011), o mesmo valor que o recomendado na água de consumo humano pelo Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto. A média de fluoretos nesta nascente é de 2,84 mg/L, sendo quase o dobro do valor paramétrico. Por último, tendo em conta os percentis, temos pelo percentil 75 que 75% das concentrações são inferiores a 3,3 mg/L e, pelo percentil 25, que 75% das concentrações são superiores a 2,3 mg/L, o que significa que, num período de cinco anos, 75% das análises feitas têm resultados superiores a 2,3 mg/L, valor este, por si só, superior ao valor paramétrico de 1,5 mg/L. Estes dados mostram que, apesar da constante variação entre as concentrações de fluoreto ao longo do tempo, a maioria destas assumem valores preocupantes na água distribuída à população, tornando-se esta a nascente com problemas mais graves de fluoretos.

#### 4.5.2 – Nascente da Burra



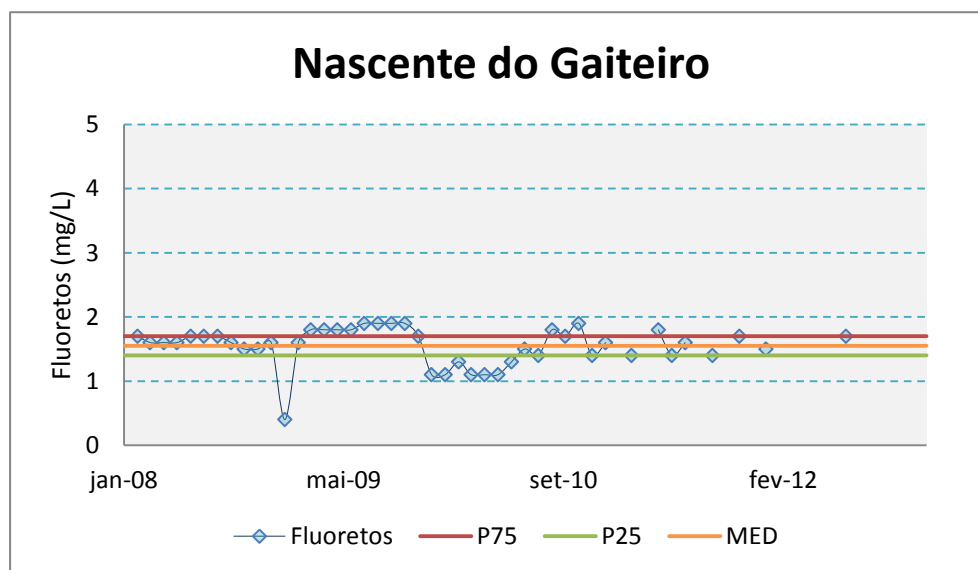
**Gráfico 4** – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente da Burra

No gráfico 4, referente à nascente da Burra, é possível observar que esta não variou tanto como a nascente das Frechas. Exceptuam-se deste conjunto o seu máximo e mínimo, que representam pontos extremos dentre todas as medições, sendo estes de 2,5 mg/L (Abril



de 2009) e de 0,4 mg/L (Março de 2009). A média para os cinco anos em estudo é de 1,5 mg/L, valor aceitável visto corresponder ao valor paramétrico para o teor de fluoretos na água, como já foi referido anteriormente. Também nesta nascente verifica-se que 75% dos valores são inferiores a 1,7 mg/L, o que é um bom indicador de que esta nascente possui, maioritariamente, teores de fluoretos inferiores a 1,5 mg/L, ou ligeiramente superiores. Por sua vez, 75% dos valores são superiores a 1,4 mg/L, o que pode levar à conclusão de que o teor de fluoretos na nascente da Burra encontra-se, na sua maioria, entre 1,4 mg/L e 1,7 mg/L, valores que não variam muito do valor paramétrico actual. Estas observações indicam que, apesar da concentração máxima encontrada, esta nascente não apresenta valores tão preocupantes como a nascente das Frechas. No entanto, ainda possui elevadas concentrações de fluoreto para consumo humano, pelo que não deve ser ignorada.

#### 4.5.3 – Nascente do Gaiteiro



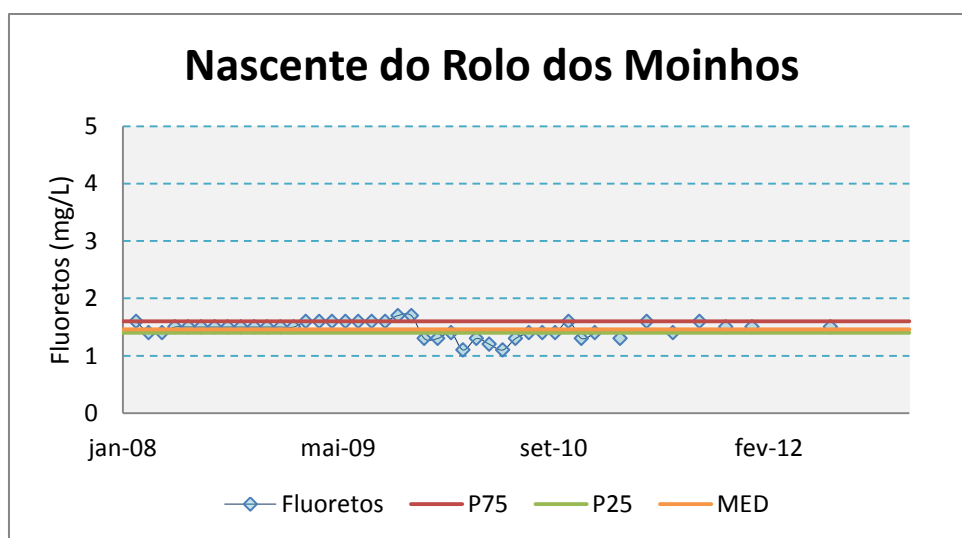
**Gráfico 5** – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente do Gaiteiro

A nascente do Gaiteiro, apresentada no gráfico 5, possui concentrações de fluoreto muito semelhantes entre si durante os anos de 2008, 2009 e 2010, a maioria destas variando entre 1,5 mg/L, 1,6 mg/, 1,7 mg/L, 1,8 mg/ e 1,9 mg/L, ultrapassando o valor paramétrico na maioria das vezes. No ano de 2011 já se verificaram algumas variações mais bruscas nas concentrações, enquanto no ano de 2012, não é possível tirar uma conclusão concreta, visto que só foram feitas duas análises nesse ano, uma no mês de Janeiro e outra no mês de Julho.



O máximo para esta nascente é de 1,9 mg/L (Julho, Agosto, Setembro e Outubro de 2009 e Novembro de 2010), enquanto o mínimo é de 0,4 mg/L no mês de Janeiro de 2009, valor extremo e fora do padrão encontrado para esta nascente. A média é de 1,55 mg/L, encontrando-se no limiar de ultrapassar o valor paramétrico; tal como aconteceu com a nascente da Burra, segundo o percentil 25 e o percentil 75, 75% das concentrações de fluoreto nesta nascente são inferiores a 1,7 mg/L, enquanto 75% destas são superiores a 1,4mg/L, o que significa que a maioria dos valores se encontra entre este intervalo. Novamente, esta nascente compara-se à da Burra devido a não possuir concentrações tão elevadas de fluoreto como a nascente das Frechas. Contudo, as várias vezes em que se obtiveram concentrações superiores a 1,5 mg/L também não devem ser ignoradas.

#### 4.5.4 – Nascente do Rolo dos Moinhos



**Gráfico 6** – Variação de fluoretos ao longo do tempo na nascente do Rolo dos Moinhos

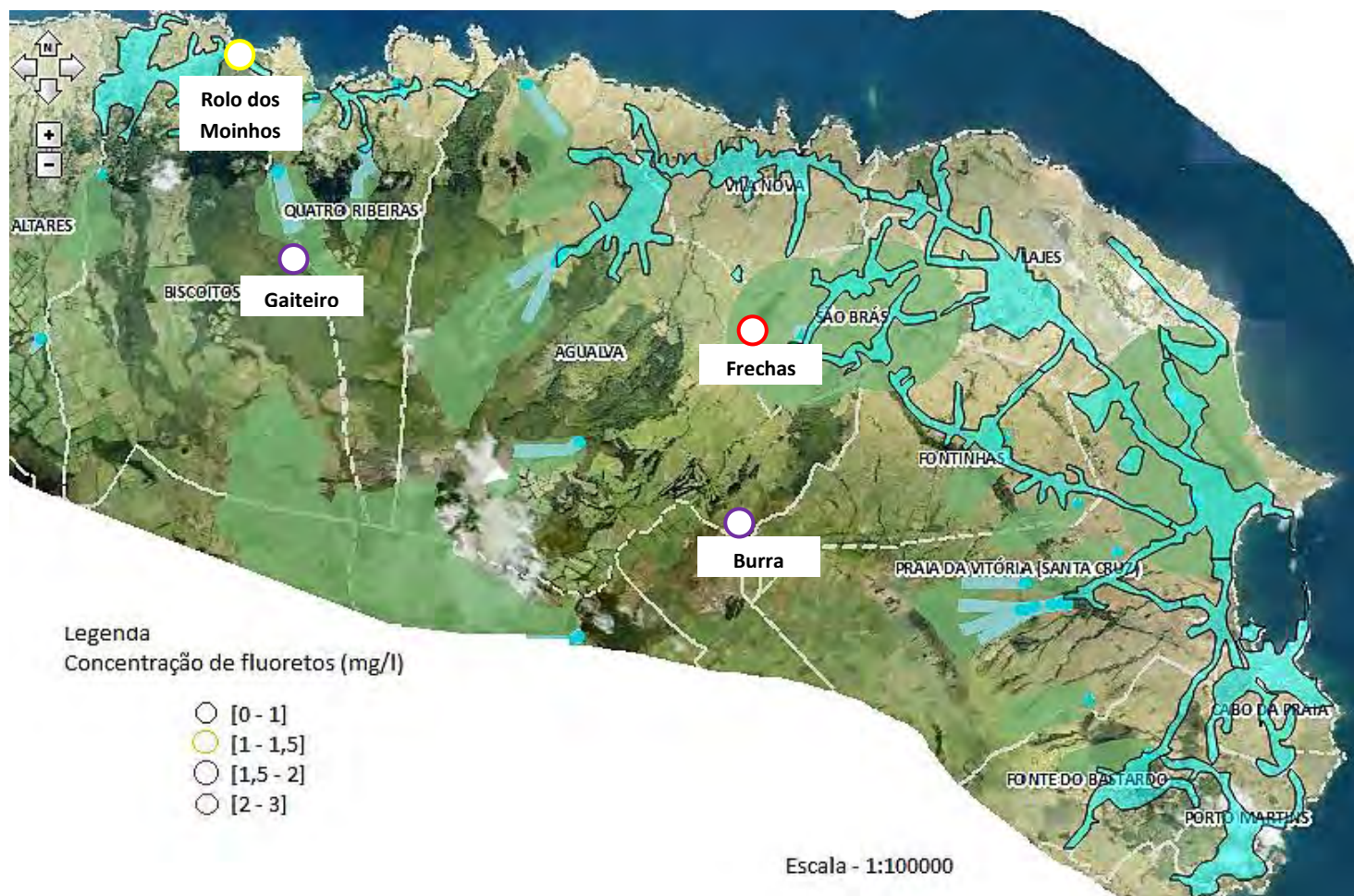
Por fim, a nascente do Rolo dos Moinhos possui concentrações de fluoreto semelhantes durante vários meses, nos anos de 2008 e 2009, estas aumentando ligeiramente em 2009, coincidindo com o valor do percentil 75 (1,6 mg/L). Em 2010, as concentrações voltam a baixar e a variação destas é irregular ao longo do ano. O mesmo acontece para o ano de 2011, não havendo alterações significativas. Tal como aconteceu para a nascente do Gaiteiro, no ano de 2012 só houve duas análises, uma no mês de Janeiro e a outra no mês de



Julho, ambas com o valor de 1,5 mg/L, pelo que não é possível tirar uma conclusão sobre a variação dos fluoretos durante este ano. O máximo para esta nascente é de 1,7 mg/L (Outubro e Novembro de 2009), mais uma vez superior ao valor paramétrico, enquanto o mínimo é de 1,1 mg/L, nos meses de Março e Junho de 2010. A média é de 1,46 mg/L, novamente próxima do valor paramétrico; por último, observando os percentis calculados, temos que 75% dos valores são inferiores a 1,6 mg/L e que 75% são superiores a 1,4 mg/L, o que significa que os teores de fluoretos nesta nascente, na sua maioria, não variam num intervalo muito alargado. Esta nascente pode ser considerada a menos preocupante entre todas devido ao seu máximo ser apenas de 1,7 mg/L e de não apresentar uma elevada variação ao longo do tempo. Contudo, deve continuar-se a ter em conta que o valor paramétrico pelo DL 306/2007 de 27 de Agosto foi, de facto, ultrapassado.

#### 4.6 – Distribuição geográfica das nascentes por teor de fluoretos

De forma a apresentar um último aspecto sobre as nascentes em estudo (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos), nomeadamente a sua localização, foi feita uma representação da distribuição geográfica de todas as nascentes, localizando-as no sistema de distribuição de água do concelho da Praia da Vitória, pela sua concentração média de fluoreto, calculada nos pontos anteriores. Esta representação teve por base uma imagem semelhante encontrada no trabalho realizado por Cordeiro *et al.* (2012), sendo este esquema uma mera adaptação da representação feita por estes autores. Na imagem aqui apresentada encontram-se ainda esquematizadas informações adicionais como todas as nascentes de abastecimento público, a zona de protecção imediata às captações, a zona de protecção intermédia às captações, a zona de protecção alargada às captações e toda a rede de abastecimento do concelho da Praia da Vitória. Um esquema mais detalhado do sistema de distribuição, semelhante ao exposto neste ponto, encontra-se apresentado em anexo (anexo 1). É importante ainda referir que a localização das nascentes foi feita segundo a carta geológica de Rodrigues (2002), onde estão localizadas as principais nascentes da ilha Terceira de acordo com os seus caudais. A distribuição geográfica das nascentes por teor de fluoretos encontra-se na imagem abaixo apresentada.



**Figura 8** – Distribuição geográfica das nascentes em estudo por teor de fluoretos

(Fonte: <http://sig.sram.azores.gov.pt/SRAM/site/SRIA/>)

Na figura 8, como já foi referido, encontra-se representado o sistema de distribuição de água do concelho a Praia da Vitória e as nascentes em estudo, distribuídas pela sua concentração média de fluoretos. Como se pode observar, as nascentes do Gaiteiro e do Rolo dos Moinhos estão localizadas na freguesia dos Biscoitos, a primeira apresentando uma concentração média entre 1,5 mg/L e 2 mg/L, enquanto a segunda tem uma média entre 1 mg/L e 1,5 mg/L. Por sua vez, as nascentes da Burra e das Frechas estão localizadas na freguesia da Agualva, a primeira com uma média semelhante à nascente do Gaiteiro (entre 1,5 mg/L e 2 mg/L) e a segunda com uma concentração média mais elevada, entre 2 mg/L e 3 mg/L.

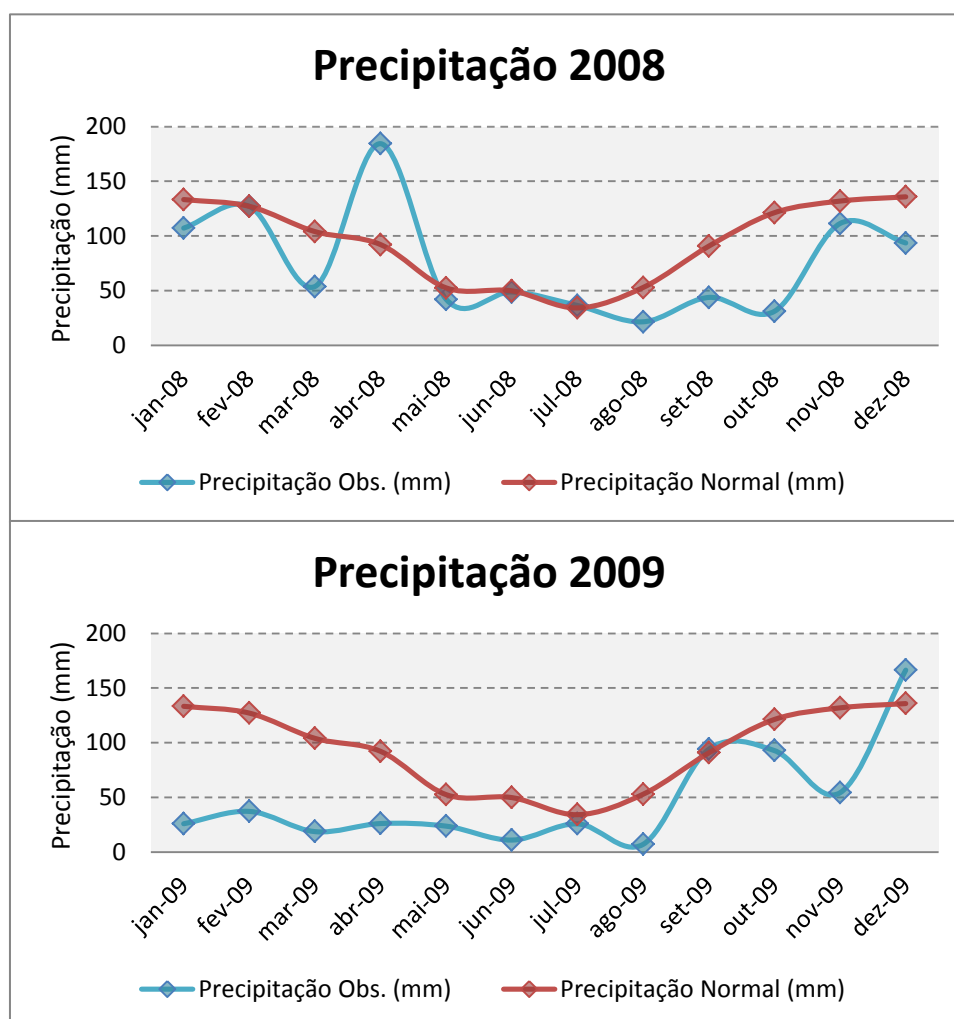


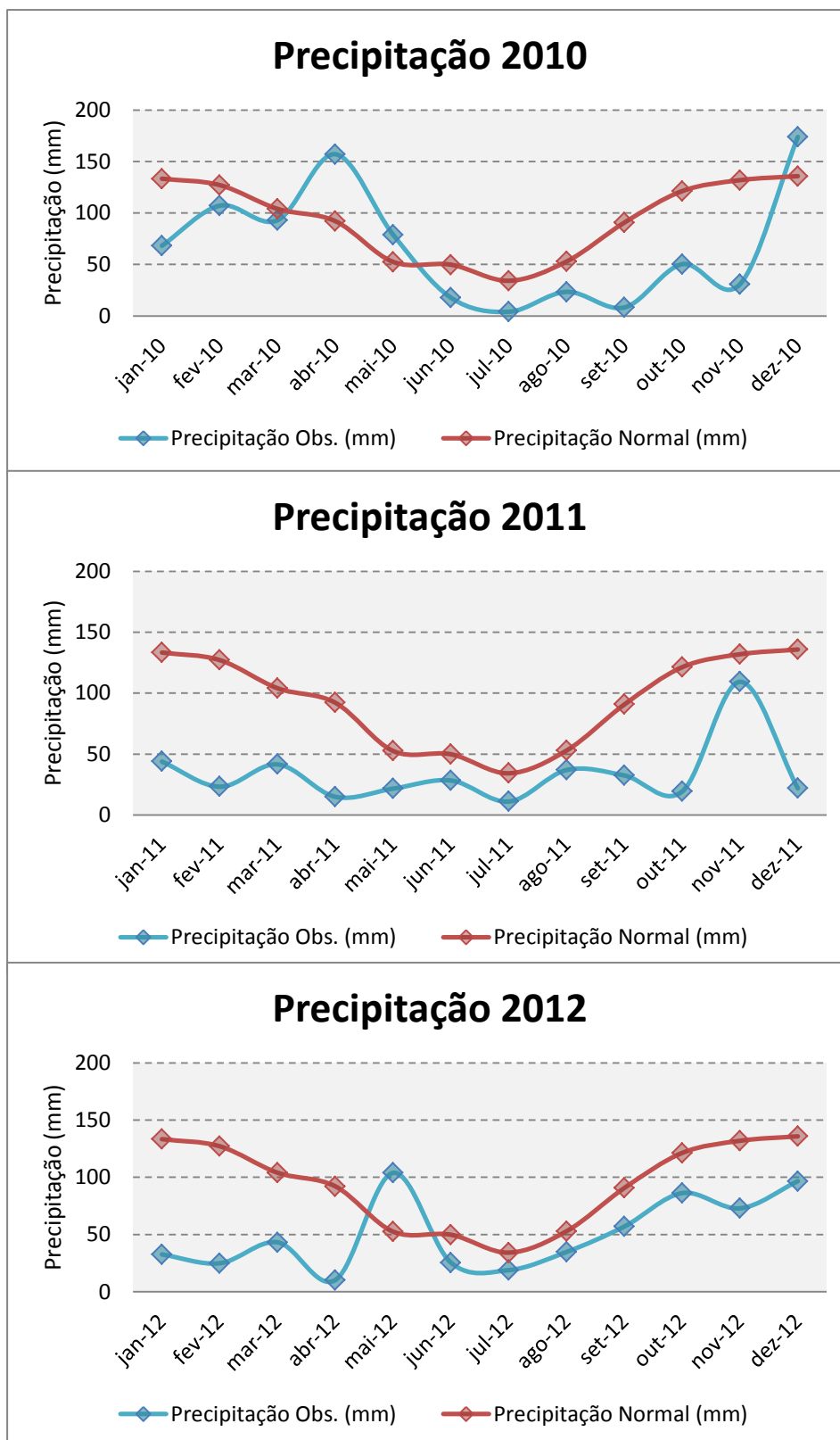
## 5. Apresentação e discussão de resultados

### 5.1 – Análise da precipitação para o período em estudo

De forma a se perceber a possível influência da precipitação na concentração de fluoretos encontrada nas captações (Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos), primeiro é importante analisar o comportamento da precipitação ao longo do período em estudo e de que forma esta se relaciona com as normais de precipitação, nomeadamente, se os anos são secos ou húmidos. Os pontos seguintes apresentam essa comparação para os anos de 2008 a 2012.

#### 5.1.1 – Comparação entre a precipitação observada e a precipitação normal





**Gráfico 7** – Comparação entre a precipitação observada e a precipitação normal para o período em estudo (2008-2012)

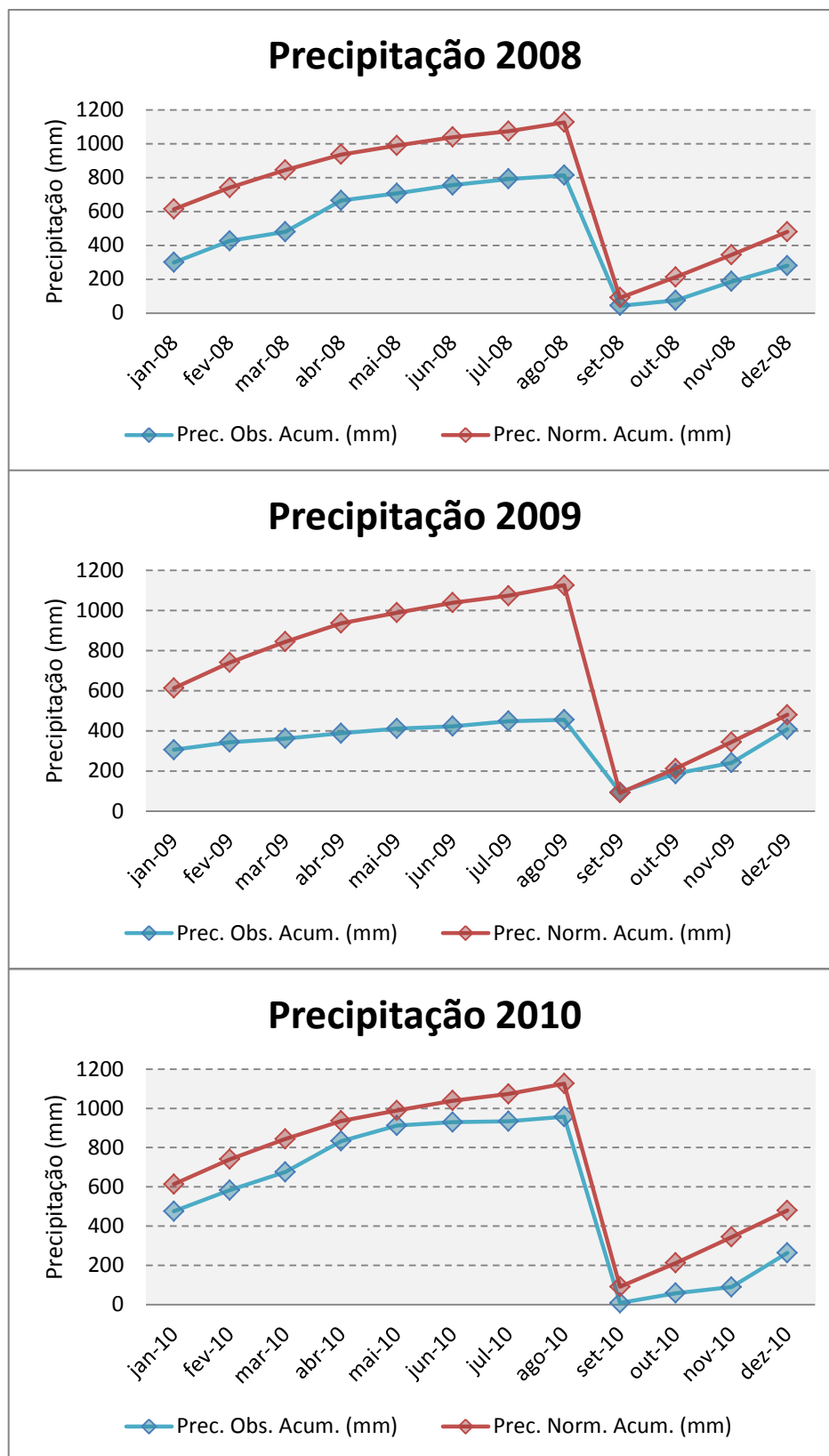


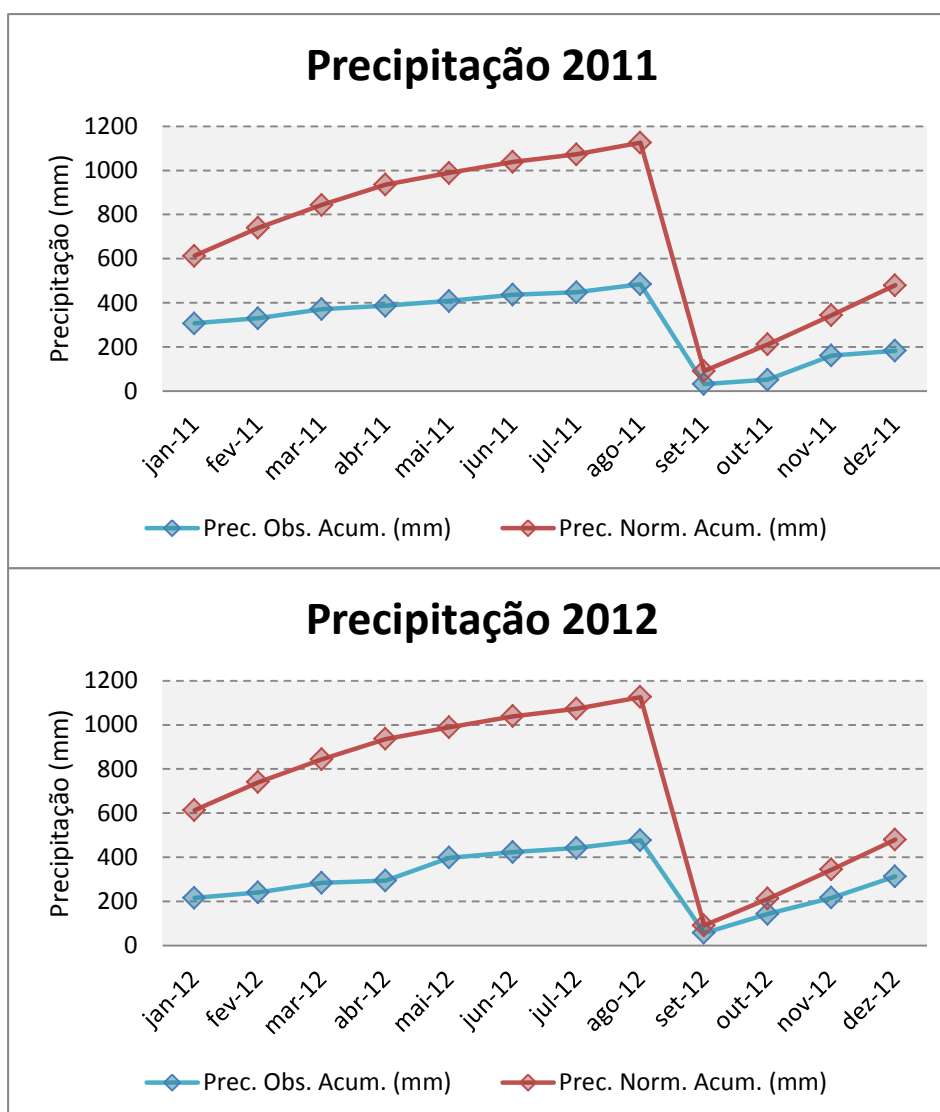
Observando o gráfico 7 verifica-se que, no ano de 2008, a precipitação observada foi quase sempre ligeiramente inferior à precipitação normal, com excepção do mês de Abril que superou o valor normal em quase o dobro, com quase 200 mm. No ano de 2009, com excepção do mês de Dezembro, a precipitação observada foi sempre inferior à precipitação normal. Com efeito naquele mês foram observados 170 mm de precipitação tendo correspondido ao mês em que se verificaram enxurradas no concelho da Praia da Vitória que afectaram, sobretudo, a freguesia da Aqualva. No ano de 2010, a precipitação observada é algumas vezes superior à normal, exceptuando-se os meses de Janeiro, Setembro, Outubro e Novembro onde esta é muito menor. Por sua vez, o ano de 2011 é ligeiramente semelhante ao ano de 2009, onde a maioria dos meses apresenta uma diferença inferior de 50 mm entre a precipitação normal e a observada. Por último, 2012 começa por ter uma precipitação observada menor que a normal; esta sobe drasticamente no mês de Maio, mas volta a baixar, mantendo próxima (mas inferior) à precipitação normal.

De uma forma geral, observando os dados apresentados no gráfico 7, verifica-se que a precipitação observada no período em estudo é quase sempre inferior à precipitação normal. Este facto é um primeiro indicador que os anos hidrológicos de 2008 a 2012 foram anos secos, com destaque apenas para alguns meses, em que a precipitação observada foi superior à normal.



### 5.1.2 – Comparação entre a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada





**Gráfico 8** – Comparação entre a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada para o período em estudo (2008-2012)

Analisando o gráfico 8, acima apresentado, é possível dizer que em 2008, de Janeiro a Agosto existe uma diferença de aproximadamente menos 200 mm entre a precipitação observada e a normal. A partir de Setembro (mês em que se inicia o ano hidrológico) a diferença é menor, estando a precipitação observada muito próxima ao valor normal. Já no ano de 2009, a precipitação observada é muito inferior à precipitação normal, demonstrando que choveu muito pouco entre os meses de Janeiro e Agosto, verificando-se uma maior diferença à medida que se aproximam os meses mais quentes. A partir de Setembro, a precipitação observada é muito semelhante à esperada, revelando um Inverno regular durante este ano. No ano de 2010 tem-se que a precipitação observada, embora ligeiramente inferior à normal mantém-se regular durante todo o ano, os seus valores não se afastando muito da



precipitação normal, destacando-se assim dos restantes anos apresentados. Por último, tanto o ano de 2011 como o de 2012, revelam-se semelhantes ao que foi verificado no ano de 2009, com a precipitação observada diminuindo à medida que o ano avança para os meses mais quentes. A diferença entre a precipitação observada a precipitação normal varia entre 300 mm e 600 mm, em ambos os anos; no mês de Setembro, nos dois anos, a precipitação observada é muito próxima do normal, enquanto nos restantes meses (Outubro, Novembro e Dezembro), a precipitação observada não diferencia muito da precipitação normal, sendo esta mais regular em 2012 do que em 2011.

De uma forma geral, comparando a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada apresentadas no gráfico 8, tem-se que em todos os anos a precipitação observada é sempre inferior à precipitação normal, representando este um período de anos secos existindo, tal como o que foi verificado após a análise do gráfico 7. No entanto, alguns dos anos em estudo revelaram-se mais secos do que outros. O ano de 2009 é, evidentemente, o ano mais seco deste período, seguindo-se os anos de 2011 e 2012, muito semelhantes entre si. O ano de 2010 é, por sua vez, o ano mais húmido deste período mantendo-se a precipitação observada sempre muito próxima à precipitação normal. O ano de 2008 classifica-se como o segundo ano mais húmido deste período.

## 5.2 – Influência dos factores do meio ambiente

Como já foi referido em pontos anteriores deste trabalho, as concentrações de fluoreto na água de consumo são influenciadas pelo que acontece na sua zona de recarga, devido a diversos factores, quer naturais como antropogénicos. Neste trabalho, decidiu-se considerar os factores mais importantes e que certamente influenciam as nascentes em estudo. Estes são a sazonalidade, nomeadamente influência da precipitação observada na concentração de fluoretos e a litologia na zona de recarga.

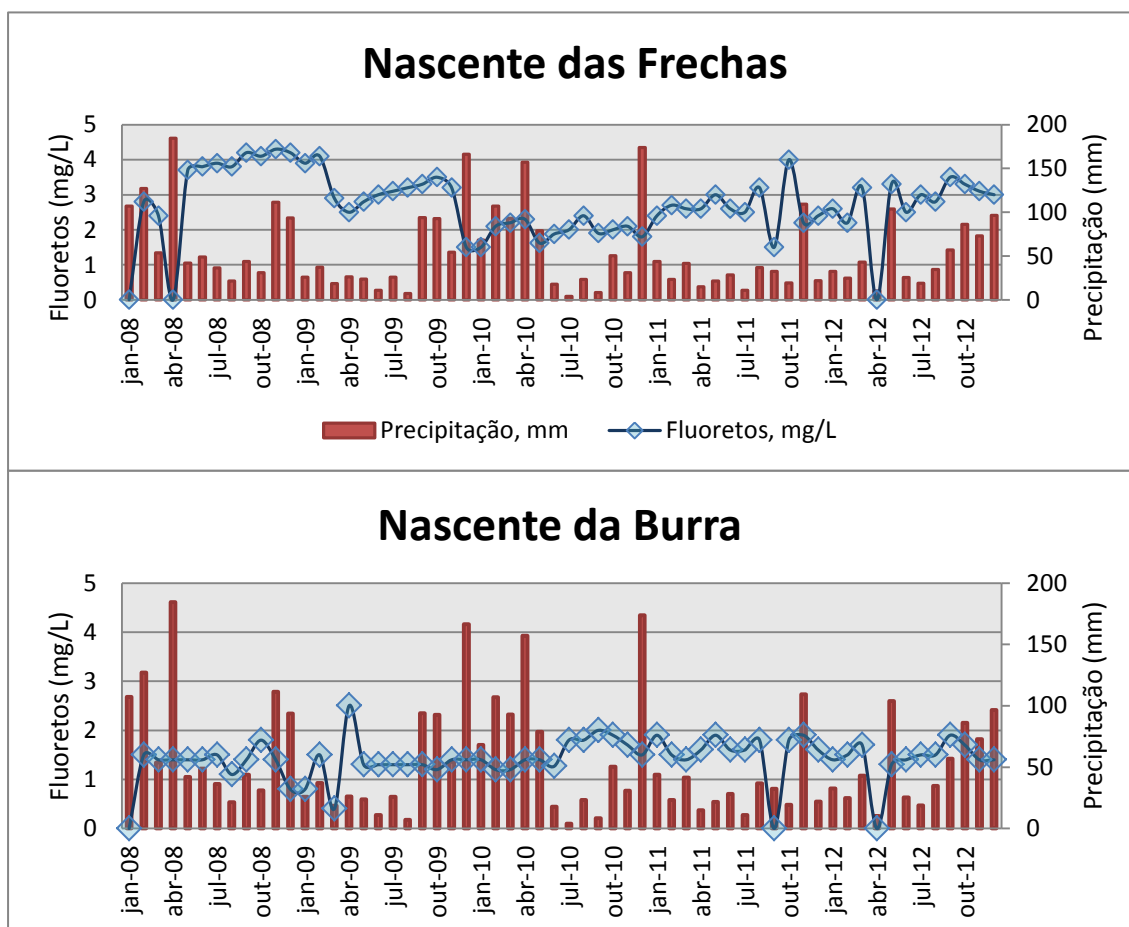
A influência sazonal no teor de fluoretos da água foi referida por diversos autores, nomeadamente por Cordeiro *et al.* (2012). Estes autores verificaram que as concentrações de fluoreto na água de algumas nascentes da ilha de São Miguel eram mais baixas durante a estação chuvosa (entre Outubro e Março), o que é um primeiro indicador de que, quanto maior a precipitação, menor será a concentração de fluoretos na água. Este factor, no entanto,

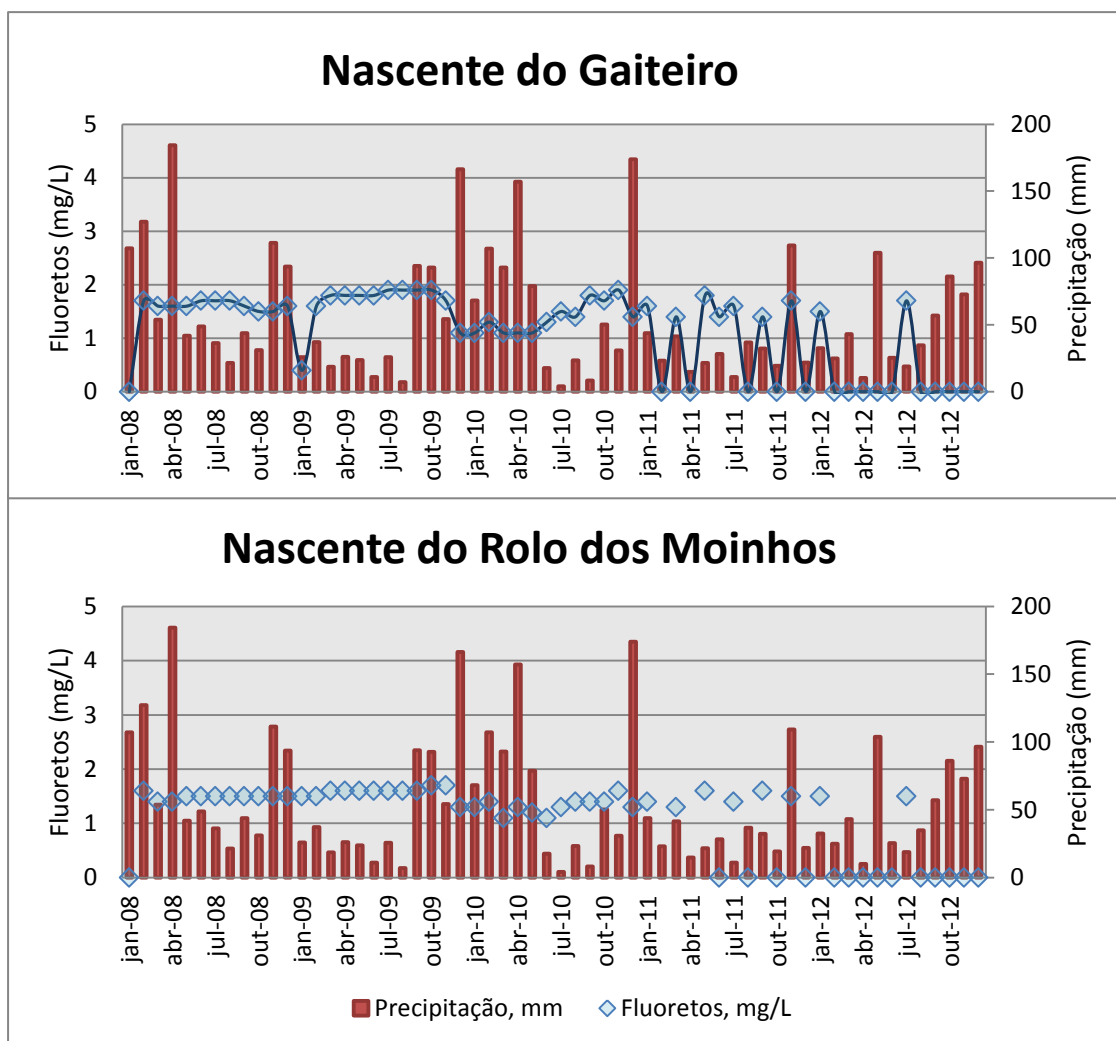


não depende somente da precipitação observada, mas também do tempo que a água permanece nos aquíferos até chegar à nascente, ou seja, o tempo de residência hidráulico (TRH). O tempo de residência hidráulico para o arquipélago dos Açores pode ser de um e dois meses (LNEC, 1997; Cordeiro *et al.*, 2012; Rodrigues, 2013a), pelo que é importante verificar o comportamento entre os fluoretos e a precipitação não só directamente, mas também tendo em conta o TRH num mês e em dois meses, para as nascentes em estudo.

### 5.2.1 – Influência da precipitação no teor de fluoretos ao longo do tempo

Os gráficos seguintes apresentam a influência directa da precipitação no teor de fluoretos encontrado em cada uma das nascentes, para cada mês do período em estudo. É importante referir que alguns meses não apresentam dados de fluoreto (teor de fluoreto corresponde a zero) devido à entidade gestora (Praia Ambiente, E.M.) não ter realizado análises nos respectivos meses.





**Gráfico 9** – Comparação entre o teor de fluoretos (mg/L) e a precipitação observada (mm) para cada nascente (2008-2012)



Como se pode observar pelo gráfico, na nascente das Frechas, durante o ano de 2008 é possível relacionar as elevadas concentrações de fluoreto com a baixa precipitação observada. No entanto, este padrão muda em 2009 onde, com uma diminuição da precipitação, há uma queda no teor de fluoretos, o que não deveria acontecer. Volta-se a verificar uma possível relação em 2010 devido à concentração de fluoretos baixar com a subida da precipitação, o mesmo acontecendo em 2011. Nesse ano, porém, o teor de fluoretos sobe com a queda da precipitação observada, em alguns meses do ano. A partir de Agosto de 2011 até Dezembro de 2012 o comportamento dos fluoretos é irregular, só se podendo admitir uma influência directa por parte da precipitação em poucos dos meses neste intervalo. Já o teor de fluoretos na nascente da Burra comporta-se em 2008 de forma semelhante à nascente das Frechas, baixando com a elevada precipitação observada. Entre Maio de 2009 e Junho de 2010 a concentração de fluoretos manteve-se mais ou menos constante, não se verificando qualquer influência por parte da precipitação. Em Julho de 2010 já se observa uma subida no teor de fluoretos, provavelmente relacionada aos níveis baixos de precipitação. A partir de Janeiro de 2011 a concentração de fluoretos é instável, variando sempre em cada mês, mostrando não haver quase nenhuma influência por parte da precipitação na maioria dos meses, até Dezembro de 2012.

Por sua vez, a nascente do Gaiteiro apresenta uma relação semelhante à encontrada para as nascentes das Frechas e Burra, entre o teor de fluoretos e a precipitação observada, para os anos de 2008 e 2009 (teor de fluoretos baixa quando há um aumento da precipitação e sobe quando a precipitação diminui), enquanto no ano de 2010 verifica-se que os fluoretos aumentam com a subida da precipitação. Nos anos de 2011 e 2012 não é possível obter nenhuma conclusão, pois faltam dados relativamente ao teor de fluoretos nesta nascente. Por último, a nascente do Rolo dos Moinhos, tanto em 2008 como em 2009, não apresenta qualquer tipo de influência por parte da precipitação no teor de fluoretos, este mantendo-se constante durante os anos mencionados. Em 2010 já se verifica uma maior variação na concentração de fluoretos, havendo uma possível influência da precipitação em alguns meses deste ano. Os anos de 2011 e 2012, tal como aconteceu com a nascente do Gaiteiro, estão comprometidos pela falta de dados relativamente à concentração de fluoretos, não podendo ser possível tirar nenhuma conclusão.

De uma forma geral, é possível admitir à primeira vista que existe alguma influência por parte da precipitação sobre a concentração de fluoretos encontrada nas nascentes em

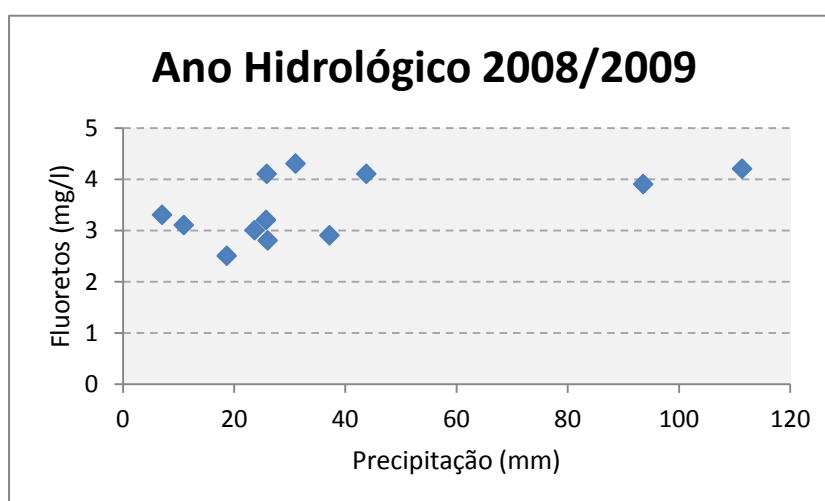


estudo. Esta primeira análise, porém, não tem em conta o tempo que a água permanece nos aquíferos, pelo que não é verdadeiramente conclusiva. Ela demonstra, no entanto, a possibilidade de existir influência da sazonalidade no teor de fluoretos na água das nascentes do concelho da Praia da Vitória.

### 5.2.2 – Influência da precipitação no teor de fluoretos – TRH da água nos aquíferos

Nesta segunda análise sobre a influência da precipitação no teor de fluoretos relacionou-se o teor de fluoretos com a precipitação observada, tendo em conta o tempo de residência hidráulico. Esta comparação tem por objectivo demonstrar se existe, ou não, uma relação directa entre a concentração de fluoretos e a precipitação, visto que no ponto anterior não foi possível obter uma conclusão concreta. É importante referir que esta análise foi feita por abordagens diferentes, na tentativa de obter resultados positivos. Começou-se por comparar a precipitação observada nos anos hidrológicos (de Setembro a Agosto) com o teor de fluoretos, para tempos de residência hidráulico de um mês e de dois meses. De seguida, comparou-se a precipitação média diária ao fim de três meses (TRH de três meses) com a concentração de fluoretos obtida no último mês de referência nas nascentes. Esta análise foi feita apenas para a nascente das Frechas, visto ser a que apresenta uma maior variação no seu teor de fluoretos ao longo do período em estudo.

#### 5.2.2.1 – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 1 mês

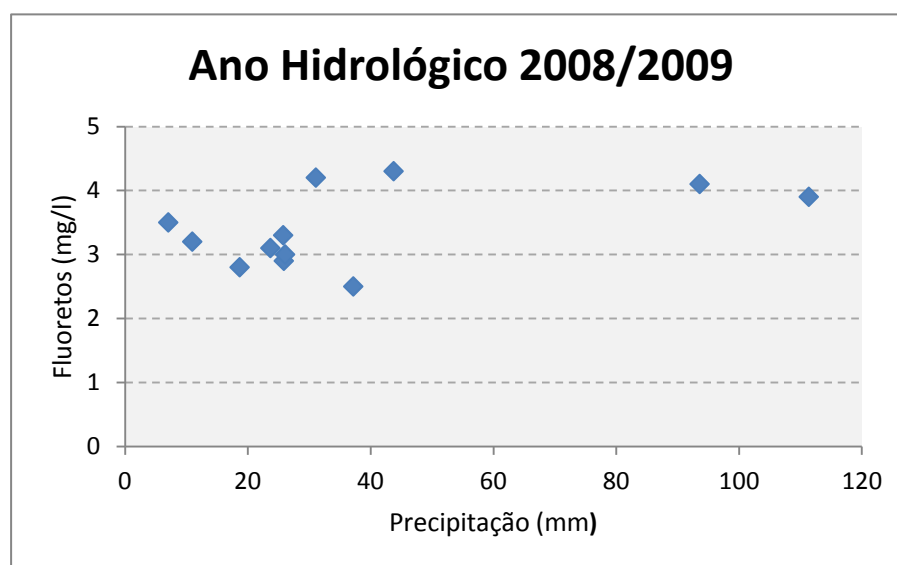


**Gráfico 10** – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 1 mês



O gráfico 10 apresenta a variação dos fluoretos na nascente das Frechas consoante a precipitação observada no ano hidrológico 2008/2009 (Setembro de 2008 a Agosto de 2009), tendo em conta um tempo de residência hidráulico de um mês. Observando o gráfico em si, vê-se que algumas das concentrações mais elevadas de fluoretos registaram-se quando a precipitação foi menor. Porém, concentrações semelhantes ocorreram com precipitações mais elevadas. Em alguns casos, verifica-se que a concentração de fluoretos sobe com uma menor precipitação, contudo esta variação não é constante, pelo que não é possível dizer que a permanência de um mês da água que precipitou nos aquíferos influência directamente o teor de fluoretos.

#### 5.2.2.2 – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 2 meses



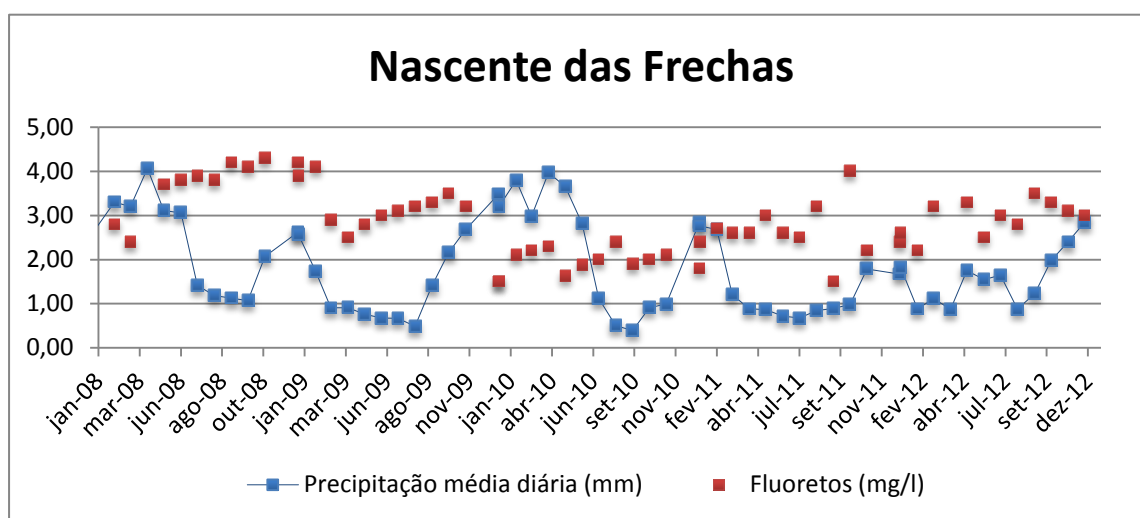
**Gráfico 11** – Comparação entre precipitação e fluoretos – TRH 2 meses

O gráfico 11, tal como o anterior, apresenta a variação dos fluoretos na nascente das Frechas consoante a precipitação observada no ano hidrológico de 2008/2009, tendo em conta um tempo de residência hidráulico de dois meses. Observando o gráfico, é possível ver que a disposição dos dados não difere muito do que foi apresentado anteriormente. Novamente, concentrações elevadas de fluoretos encontram-se associadas a precipitações mais baixas, como esperado, mas também se encontram associadas a meses mais chuvosos. Nesta análise, porém, verifica-se uma ligeira tendência nas concentrações de fluoretos até aos 40 mm, estas



baixando à medida que a precipitação aumenta; contudo as exceções sobrepõem esta tendência. No entanto, tendo em conta um TRH de dois meses, confirma-se que poderá haver influência por parte da precipitação sobre o teor de fluoretos, porém esta não é uma relação directa. Esta poderá ser influenciada por outros factores como o pH, a temperatura, a alcalinidade ou a própria litologia da zona de recarga.

### 5.2.2.3 – Comparação entre a precipitação média diária e o teor de fluoretos



**Gráfico 12** – Comparação entre a precipitação média diária e o teor de fluoretos

No gráfico 12 é apresentada a comparação entre a precipitação média diária em três meses e o teor de fluoretos, para o período em estudo (2008-2012). Observando o gráfico, é possível verificar que, para a nascente das Frechas, a descida da precipitação está associada a concentrações mais elevadas de fluoreto, enquanto a subida da precipitação, principalmente durante os meses mais chuvosos de 2010, está associada às concentrações mais baixas de fluoreto para esta nascente. Tendo em conta os dados apresentados, pode confirmar-se o que foi verificado ao analisar o gráfico 11. A precipitação, tendo em conta o tempo de residência hidráulico, tem influência sobre o teor de fluoretos encontrado nas nascentes em estudo. Esta relação porém, não é directa tendo influência de outros factores do meio ambiente que podem tanto diminuir como aumentar o teor de fluoretos disponível na água das nascentes. O TRH mais favorável a esta situação será de dois a três, o que pode não ocorrer em todos os



casos, visto que o tempo de residência hidráulico para o arquipélago é tido como sendo entre um e dois meses.

### 5.2.3 – Influência da litologia no teor de fluoretos

As nascentes em estudo, como foi referido anteriormente, encontram-se localizadas no maciço de Guilherme Moniz, mais precisamente no Centro Vulcânico do Pico Alto (Guilherme Moniz-Pico Alto). A concentração de fluoretos das nascentes localizadas neste maciço é muito superior às concentrações encontradas nas nascentes dos restantes maciços da ilha, como é possível observar pelos resultados obtidos no ponto 4.1.3 do presente trabalho, onde também são comparadas as concentrações de fluoreto das quatro nascentes em estudo e se verifica que estas são muito semelhantes às concentrações das nascentes de Guilherme Moniz-Pico Alto. Este facto, para além de localização das nascentes em estudo no maciço a que pertencem, também é indicador de que as características litológicas têm influência sobre o teor de fluoretos encontrado.

Em função dos mecanismos eruptivos envolvidos, dependentes das propriedades físico-químicas dos magmas emitidos e do ambiente geológico circundante, as formações vulcânicas insulares apresentam uma grande variedade litológica e estrutural, englobando diversos tipos de derrames lávicos e produtos vulcanoclásticos (Rodrigues, 2002). Assim sendo, as diversas formações geológicas da ilha Terceira influenciam de forma diferente a água das nascentes. No caso da nascente das Frechas, Burra, Gaiteiro e Rolo dos Moinhos, dada a sua localização geográfica, estas encontram-se influenciadas pelas formações peralcalinas do Pico Alto que, segundo Rodrigues (2013b), é a principal razão da existência de fluoretos nestas nascentes e nas restantes que se distribuem por este maciço.

As formações peralcalinas do Pico Alto correspondem a um conjunto de cúmulo-domos, domos-escoada e depósitos piroclásticos, de natureza peralcalina, associados à actividade eruptiva do vulcão de Guilherme Moniz, após o abatimento da respectiva caldeira. Englobam lavas traquíticas, de composição comendítica e pantelerítica, com teores de quartzo que variam entre 3,34% e 16,01% (Rodrigues, 2002). Grande parte destes materiais são porfíricos, apresentando normalmente fenocristais de sanidina, oligoclase e aegirina-augite, bem como, mais raramente, faialite, magnetite e olivinas. Estes dispõem-se numa matriz



traquítica de vidro vulcânico escuro que engloba cristais de feldspato e aegirina-augite acicular. Nalgumas escoadas lávicas e depósitos piroclásticos ocorrem frequentemente inclusões de vidro vulcânico negro pouco vesicular, com cristais de feldspato dispersos (Rodrigues, 2002). No estratovulcão de Guilherme Moniz, estes materiais foram maioritariamente emitidos pelo Centro Vulcânico do Pico Alto. Afloram nas suas vertentes exteriores do quadrante norte e ainda no interior da caldeira de Guilherme Moniz. Os materiais piroclásticos de queda, para além de surgirem junto dos respectivos centros emissores, apresentam uma grande continuidade lateral, aflorando na zona de transição e no maciço dos Cinco Picos (Rodrigues, 2002). O conjunto de materiais que integra esta formação apresenta um claro predomínio dos do tipo efusivo sobre os de carácter explosivo. Os primeiros apresentam uma grande espessura e são pouco vacuolares. A fracção piroclástica é maioritariamente constituída por depósitos sub-plinianos de pomes e cinzas que intercalam ou recobrem os materiais lávicos consolidados (Rodrigues, 2002). A lava é ácida, possuindo mais de 75% de sílica na sua composição e as substâncias da rocha são muito vulneráveis à alteração, pelo que quando a água passa nas rochas dissolve as substâncias e incorpora-as na sua composição, levando à existência de fluoretos na água das nascentes (Rodrigues, 2013b).

Mesmo estando todas as nascentes localizadas no mesmo maciço e sobre a mesma formação geológica, as concentrações de fluoretos encontradas em cada nascente diferem entre si. Das nascentes em estudo, a das Frechas e a do Rolo dos Moinhos são as que apresentam maiores diferenças entre as suas concentrações, a primeira sendo a que possui teores de fluoretos mais elevados e a segunda a com teores mais próximos do valor paramétrico de 1,5 mg/L, estabelecido pelo Decreto-lei 306/2007 de 27 de Agosto. A razão para esta diferença está dependente das erupções vulcânicas que ocorreram no Pico Alto. As formações peralcalinas do Pico Alto não correspondem a uma única erupção, mas sim a um conjunto de erupções que ocorreram em momentos dispersos e que possuem propriedades físico-químicas diferentes entre si (Rodrigues, 2013b). Este factor, segundo Rodrigues (2013b), pode estar na origem das diferenças encontradas nas nascentes das Frechas e do Rolo dos Moinhos. Por sua vez, a semelhança encontrada entre as nascentes da Burra e do Gaiteiro também poderá ser explicada por este factor, assumindo que estas nascentes estão localizadas em zonas constituídas por materiais da mesma erupção vulcânica. Na figura seguinte encontra-se representada a localização das nascentes em estudo pelo maciço onde se encontram e, consequentemente, na formação geológica pela qual são influenciadas.





### 5.3 – Avaliação das consequências a nível da Saúde Pública

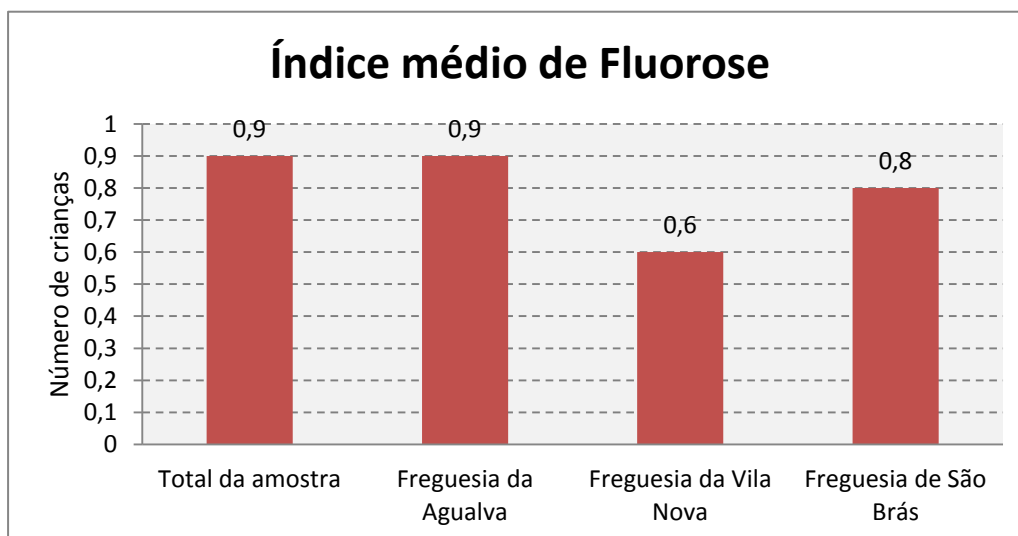
A avaliação das consequências dos elevados teores de fluoreto na água de consumo das freguesias de Agualva, Vila Nova e São Brás baseia-se nos resultados do rastreio de fluorose dentária realizado na EBI da Praia da Vitória, a 30 de Setembro. Estes dados foram analisados tendo em conta o trabalho realizado por Horowitz *et al.* (1967), apresentando-se os índices de fluorose dentária para o total de crianças observadas e por freguesia.

#### 5.3.1 – Índice médio de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória

**Tabela 11** – Índice médio de fluorose das crianças observadas no concelho da Praia da Vitória

	<b>Nº de crianças</b>	<b>Índice de Fluorose</b>
<b>Total da amostra</b>	56	0,9
<b>Freguesia da Agualva</b>	19	0,9
<b>Freguesia da Vila Nova</b>	19	0,6
<b>Freguesia de São Brás</b>	18	0,8

O índice de fluorose médio no total de crianças observadas é de 0,9, aproximadamente 1, pelo que se pode assumir que a maioria das crianças apresenta índices de fluorose superiores a zero. As crianças pertencentes à freguesia da Agualva apresentam o maior índice médio de fluorose da amostra, correspondente 0,9. A freguesia de São Brás é semelhante à freguesia da Agualva, com graus de fluorose mais elevados, mas ligeiramente inferiores aos desta freguesia, enquanto a Vila Nova apresenta o menor índice médio, tendo assim graus de fluorose mais baixos.



**Gráfico 13** – Índice médio de fluorose das crianças observadas no concelho da Praia da Vitória

No gráfico 14 encontra-se a distribuição dos grupos etários em cada freguesia estudada. Observando os resultados obtidos, tem-se que a freguesia da Agualva é a que apresenta uma percentagem maior com as crianças mais velhas da amostra, onde 47% têm 11 anos e 37% têm 12 anos.



**Gráfico 14** – Distribuição do grupo etário por freguesias

A freguesia da Vila Nova é a que apresenta a maior percentagem de crianças mais jovens (9 anos – 10%; 10 anos – 32%), tendo, porém, a maioria das crianças desta freguesia 11 anos de idade. A freguesia de São Brás é muito semelhante entre as duas primeiras apresentadas com as percentagens de crianças mais velhas assemelhando-se à freguesia da



Vila Nova e, por sua vez, as percentagens das crianças mais velhas assemelhando-se ao encontrado na freguesia da Aqualva.

### 5.3.2 – Distribuição do índice de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória

Neste ponto apresentam-se as distribuições, em percentagem, do n.º de observações para cada categoria do índice de Dean, considerando o total da amostra, a freguesia de origem e o grupo etário.

**Tabela 12** – Percentagem de distribuição do índice de Dean na amostra

	Nº de observações	Índice de Dean		Total sem fluorose	Índice de Dean				Total com fluorose
		Ausência de Fluorose			Presença de Fluorose				
		Normal (0)	Questionável (1)		Muito suave (2)	Suave (3)	Moderado (4)	Severo (5)	
<b>Total de observações no rastreio</b>	56	50	25	75	16,1	3,6	3,6	1,8	25
<b>Freguesia de origem:</b>									
Aqualva	19	31,6	36,8	68,4	10,5	10,5	5,3	5,3	31,6
Vila Nova	19	63,2	21,1	84,2	15,8	0	0	0	15,8
São Brás	18	55,6	16,7	72,2	22,2	0	5,6	0	27,8
<b>Idades:</b>									
9 anos	3	66,7	33,3	100,0	0	0	0	0	0
10 anos	12	50	25	75	25	0	0	0	25
11 anos	27	51,9	22,2	74,1	14,8	7,4	0	3,7	25,9
12 anos	14	42,9	28,6	71,4	14,3	0	14,3	0	28,6

Os resultados obtidos indicam que, apesar dos teores de fluoreto encontrados nas nascentes em estudo, 50% das crianças observadas possui dentição normal enquanto em 25% das crianças já era questionável a presença de fluorose (grau 1 do índice de Dean). Do total de crianças examinadas, 25% apresentou fluorose dentária com diferentes estágios, a maioria com um índice muito suave, mas ainda assim com 1,8% da amostra com índice severo.

Tendo em conta a freguesia de origem das crianças, tem-se que as que vivem na freguesia da Aqualva são as que apresentam maior incidência de fluorose dentária, seguindo-se as crianças da freguesia de São Brás e, por último, as da Vila Nova (Aqualva – 31,6%; São Brás – 27,8% e Vila Nova 15,8%). Menos de metade das crianças observadas residentes na



freguesia da Agualva, apresentam dentição normal (31,6%). A distribuição entre o índice normal e questionável é semelhante sendo, porém, o segundo ligeiramente maior (normal – 31,6% e questionável – 36,8%), pelo que a maioria das crianças desta freguesia, classificadas como ausência de fluorose, já exibem uma dentição com um índice questionável. No grupo das crianças com fluorose, a percentagem dos índices muito suave e suave foi a mesma (10,5%), o mesmo acontecendo para os índices moderado e severo, com 5,3% cada.

Das três freguesias, a Vila Nova foi onde se registou maior percentagem de crianças sem fluorose, correspondendo a 84,2%. Destas 63,2% tem uma dentição normal e 21,1% já demonstra um índice questionável; por outro lado, todas as crianças com fluorose (15,89%) apresentam grau 2 (muito suave). Já na freguesia de São Brás, 72,2% das crianças não tem fluorose, enquanto os restantes 27,8% já tem fluorose dentária. Destas crianças, 22,2% apresenta um índice muito suave e 5,6% apresenta grau 4, ou seja um índice de fluorose moderado. Nenhuma criança apresentou o índice severo. Apesar de apresentar semelhanças com Agualva, nesta freguesia não se observaram crianças com índice severo, grau 5. Para as crianças sem fluorose desta freguesia, 55,6% tem a dentição normal, enquanto 16,7% já demonstra um índice questionável.

Analisando a distribuição dos índices de fluorose por grupos etários, tem-se que nenhuma criança com 9 anos de idade apresentou fluorose dentária. Contudo, dado a dimensão da amostra para esta idade ser de apenas 3 crianças, não se considera representativa para comparar com as observações dos outros grupos etários, onde se registaram um maior número de observações. Para as crianças de 10, 11 e 12 anos, a percentagem de crianças com fluorose dentária é sensivelmente igual, com 25%, 25,9% e 28,6%. Admite-se assim que não há um grupo etário com maior incidência que outro. No entanto, a distribuição pelos diferentes índices de fluorose é distinta nos três grupos etários: enquanto nas crianças de 10 anos, todos os casos de fluorose dentária são muito suaves (grau 2), nas crianças mais velhas encontram-se graus mais avançados de fluorose. No grupo etário de 11 anos há 3,7% de observações com grau severo, e no grupo etário dos 12 anos há 14,3% com fluorose dentária moderada (grau 4).

De uma forma geral, tem-se que a maioria das crianças observadas não apresenta fluorose dentária e, das que tem fluorose, apresentam-na com índices maioritariamente baixos. Por freguesia, a Agualva é a que tem um maior número de crianças com fluorose dentária, seguindo-se a freguesia de São Brás e por último a da Vila Nova, estas duas com



resultados semelhantes entre si. Observando a distribuição por idade, não se verificaram diferenças relevantes entre cada grupo de crianças, as percentagens das crianças sem fluorose não variando muito entre si, o mesmo acontecendo para as percentagens de crianças que apresentaram fluorose. Contudo, verifica-se que as crianças mais velhas (11 e 12 anos) são as que demonstram índices de fluorose mais elevados.

Salienta-se que dado a dimensão da amostra ser relativamente pequena, os valores de percentagem de distribuição por cada categoria correspondem a valores bastante reduzidos. Os resultados obtidos neste estudo dependem ainda de outros factores externos, alguns deles já referidos anteriormente. Entre estes encontram-se a quantidade de água ingerida diariamente por cada uma das crianças examinadas, directa ou indirectamente, o teor de fluoreto que chega à água da torneira, a aptidão do organismo das crianças em expulsar o fluoreto que ingeriram, bem como o teor de fluoretos na água que foi ingerida pelas crianças durante a formação dos seus dentes. Este último aspecto é muito importante, visto que um indivíduo pode apresentar diferentes graus de fluorose nos seus dentes, resultando desta variação.

Por outro lado, sabendo que a nascente das Frechas é a que apresentou teores mais elevados de fluoreto nos últimos 5 anos – o percentil 25 foi de 2,3 mg/L – e que esta nascente tanto abastece a freguesia da Agualva como de Vila Nova, considera-se que existem outros factores que justifiquem a incidência de fluorose dentária ser tão díspare nestas duas freguesias. A distribuição de idades entre as duas freguesias pode, eventualmente, favorecer a freguesia da Vila Nova se o grupo de crianças a ela afecto pertencer maioritariamente ao grupo etário dos 9 e 10 anos.

### 5.3.3 – Distribuição do índice de fluorose dentária nas crianças do concelho da Praia da Vitória pela sua dentição

A mesma análise apresentada anteriormente para a totalidade dos dentes aplica-se agora em separado para os dentes de leite e para os dentes definitivos, respectivamente nas secções 5.3.3.1 e 5.3.3.2, com o objectivo de avaliar a incidência da fluorose dentária nestes dois tipos de dentição. É importante referir que duas das observações foram rejeitadas nesta análise, visto que não foram identificados por completo quantos dentes de leite e quantos



dentes definitivos duas das crianças tinham. Também neste âmbito alerta-se que, ao contrário do que aconteceu no ponto anterior, as percentagens não foram calculadas tendo em conta o total das crianças observadas. As percentagens foram calculadas em relação apenas ao total de crianças que tinham dentição de leite ou dentição definitiva, pelo que a soma dos valores não é igual a 100%.

### 5.3.3.1 – Distribuição do índice de fluorose dentária na dentição de leite

No conjunto de 54 crianças considerado para esta avaliação, 59,3% ainda possuíam dentes de leite. Destas, a maioria encontra-se com índice de fluorose de zero (38,9%), mas já 14,8% com um índice questionável, enquanto as restantes 5,6% possuem fluorose num grau muito suave (tabela 13).

**Tabela 13** – Percentagem de distribuição na amostra de crianças com dentição de leite

Total de crianças	Nº de observações	Dentição de leite						
		Dentes de leite	Índice de Dean					
			0	1	2	3	4	5
<b>Total</b>	54	59,3	38,9	14,8	5,6	0	0	0
<b>Freguesia de origem:</b>								
Aqualva	17	47,1	17,6	11,8	17,6	0	0	0
Vila Nova	19	73,7	57,9	15,8	0	0	0	0
São Brás	18	55,6	38,9	16,7	0	0	0	0
<b>Idade:</b>								
9 anos	3	100	66,7	33,3	0	0	0	0
10 anos	12	83,3	66,7	8,3	8,3	0	0	0
11 anos	25	56	36	16	4	0	0	0
12 anos	14	35,7	14,3	14,3	7,1	0	0	0

Tendo em conta a distribuição por freguesia, a Aqualva apresenta o grupo de crianças com menos dentes de leite, com 47,1% do total observado. Apenas nesta freguesia foi observado fluorose dentária em dentes de leite e num estágio muito suave (grau 2), correspondente a 17,6% das crianças, valor igual à das crianças com dentes de leite normais. Relativamente às restantes freguesias, a Aqualva é a que apresenta menor percentagem de crianças com índice de fluorose questionável, correspondente a 11,8%.



A freguesia da Vila Nova é a que possui um maior número de crianças com dentes de leite, com uma percentagem de 73,7%, enquanto em São Brás corresponde a 55,6%. Tanto a freguesia de São Brás como a da Vila Nova são as que possuem um maior número de crianças com a dentição de leite saudável, principalmente a freguesia da Vila Nova. Este resultado poderá estar influenciado pelo facto de esta freguesia apresentar o maior número de crianças com dentes de leite.

Observando os dados distribuídos por grupos etários, e de acordo com o esperado, a percentagem de crianças com dentes de leite diminui com o aumento da idade, sendo de 100% no grupo etário de 9 anos e de apenas 35,7% no grupo etário de 12 anos. As três crianças de 9 anos apresentam dentes de leite, sem fluorose apesar de em uma delas o índice ser questionável. Para as crianças de 10, 11 e 12 anos verifica-se um progressivo aumento da percentagem de índice questionável de fluorose dentária nos dentes de leite. Verifica-se assim, que as crianças mais jovens são as que apresentam uma dentição de leite mais saudável, ao contrário das mais velhas. Esta situação pode ser explicada pela freguesia de origem das crianças, que determina à partida o teor de fluoretos ingerido pelas crianças, sendo as mais jovens maioritariamente residentes na freguesia da Vila Nova.

Contudo, para avaliar a influência da idade na progressão da fluorose deveria estudar-se para a mesma freguesia a distribuição dos índices em cada uma das idades e de preferência para amostras de dimensão semelhante.

#### *5.3.3.2 – Distribuição do índice de fluorose dentária na dentição definitiva*

Os dados da tabela 14 permitem avaliar a distribuição do índice de fluorose dentária apenas nos dentes definitivos. Na amostra considerada, verifica-se que todas as crianças, quer distribuídas por freguesia, quer distribuídas por idade, possuem dentes definitivos, quer seja a dentição completa ou não.



**Tabela 14** – Percentagem de distribuição de crianças com dentição definitiva

Total de crianças	Nº de observações	Dentição definitiva						
		Dentes definitivos	Índice de Dean					5
			0	1	2	3	4	
<b>Total</b>	54	100	50,0	25,9	18,5	1,9	3,7	0
<b>Freguesia de origem:</b>								
Aigualva	17	100	29,4	41,2	17,6	5,9	5,9	0
Vila Nova	19	100	63,2	21,1	15,8	0	0	0
São Brás	18	100	55,6	16,7	22,2	0	5,6	0
<b>Idade:</b>								
9 anos	3	100	66,7	33,3	0	0	0	0
10 anos	12	100	50	25	25	0	0	0
11 anos	25	100	52	24	20	4	0	0
12 anos	14	100	42,9	28,6	14,3	0	14,3	0

De uma forma geral, metade das crianças (50%) possui a sua dentição definitiva sem fluorose, com um índice normal. Uma percentagem de 25,9% apresenta um índice questionável, 18,5% um índice muito suave, 1,9% um índice suave e 3,7% um índice moderado, pelo que verifica-se uma maior incidência dos índices questionável e muito suave, havendo, contudo, já a presença de fluorose. Na avaliação do índice de fluorose em cada um dos tipos de dentição (tabela 13 e tabela 14), não surge nenhuma observação classificada com o índice severo, o que se justifica por o único caso observado nesta categoria possuir dois dentes com grau de fluorose severo, mas em diferentes tipos de dentição. Observando estes resultados, tem-se novamente que as crianças da freguesia da Aigualva apresentam mais casos de fluorose dentária na sua dentição definitiva, seguindo-se a freguesia de São Brás, embora esta seja mais semelhante à freguesia a Vila Nova, onde as crianças apresentam menos fluorose na sua dentição definitiva.

Através da distribuição por grupos etários verifica-se claramente que os casos de fluorose dentária na dentição definitiva são mais recorrentes nas crianças mais velhas, bem como a gravidade do índice de fluorose é maior. Isto pode ser indicador de que a idade tem um papel importante na presença de fluorose dentária; também pode significar que as crianças mais velhas ingeriram água com um teor de fluoretos mais elevados, em comparação com as crianças mais jovens ou apenas que o teor de fluoreto no seu organismo é mais elevado devido ao efeito de acumulação.



De uma forma geral, tendo em conta estes resultados, bem como os resultados obtidos após a análise da tabela 13, é possível verificar que existem mais casos de fluorose dentária associados à dentição definitiva, do que associados à dentição de leite. Em ambos os casos, a freguesia da Agualva foi a que apresentou mais crianças com fluorose, seguindo-se a freguesia de São Brás e, por último, a freguesia da Vila Nova. Para a dentição de leite, os resultados para São Brás foram mais semelhantes aos da freguesia da Agualva, enquanto os resultados para a dentição definitiva estão mais próximos da freguesia da Vila Nova, revelando menos casos de fluorose dentária, bem como uma melhoria neste aspecto para esta freguesia. Novamente, tanto para a dentição de leite como para a dentição definitiva as crianças mais jovens foram as que apresentaram menos fluorose, ao contrário das crianças mais velhas, onde a prevalência de fluorose foi maior. Ainda neste contexto, os índices de fluorose para a dentição definitiva foram mais graves do que os registados na dentição de leite, o que pode ser indicador da ingestão de água com concentrações mais elevadas de fluoreto por parte das crianças na altura de formação dos seus dentes definitivos.



## 6. Conclusões e Desenvolvimentos futuros

Esta dissertação, tendo por tema a avaliação de fluoretos na água de consumo do concelho da Praia da Vitória (ilha Terceira, Açores) e suas consequências a nível da saúde pública procurou de alguma forma contribuir para um melhor entendimento sobre os fluoretos na água de consumo e os factores que o influenciam, bem como apresentar as consequências actuais na saúde pública.

O trabalho desenvolvido permitiu a determinação das zonas do concelho da Praia da Vitória que se encontram afectadas pelas elevadas concentrações de fluoreto na água de consumo, através da análise dos editais da água de 2008 a 2012, localizando-as geograficamente. Identificando as nascentes que abastecem a zona afectada (Frechas, Burra, Gaitero e Rolo dos Moinhos), estas foram descritas com detalhe, apresentando-se informações como o seu nome, localização, as zonas de abastecimento associadas, a população abastecida por cada nascente, outras origens de água que contribuem para a zona de abastecimento, o caudal e a altitude. Foi feito o enquadramento geológico das nascentes, determinando que estas se localizam no Centro Vulcânico do Pico Alto. Através da comparação das suas concentrações de fluoreto com as concentrações de fluoreto de todas nascentes da ilha Terceira por maciço (Cinco Picos, Guilherme Moniz, Santa Bárbara e Guilherme Moniz-Pico Alto), obteve-se que as nascentes localizadas no Pico Alto são as que possuem teores mais elevados de fluoreto, sendo estes semelhantes aos teores obtidos para as nascentes em estudo. Estes resultados justificaram assim a escolha das nascentes em estudo como as mais problemáticas para o abastecimento público de água.

Numa outra perspectiva, foi analisado o padrão de fluoreto nas nascentes, determinando que todas possuem um padrão contínuo, este variando individualmente em cada uma das nascentes. As nascentes da Burra e do Gaitero, no entanto, são ligeiramente semelhantes entre si neste aspecto. Avaliaram-se as nascentes com mais detalhe, comparando os valores da média, percentil 25 e percentil 75 de cada nascente para o período em estudo. Na nascente das Frechas verificou-se que existe uma grande variação entre as concentrações de fluoreto ao longo do tempo, e que ao longo de 5 anos o valor mínimo registado foi de 1,5 mg/L e o percentil 25 de 2,3 mg/L. A nascente da Burra, apesar de se localizar na mesma freguesia que a anterior, não se revelou tão preocupante como as Frechas, apresentando uma



menor variação nas suas concentrações de fluoreto. A nascente do Gaiteiro mostrou-se semelhante à nascente da Burra, com concentrações e variações parecidas apresentando, no entanto, concentrações mais baixas que a nascente da Burra. Já a nascente do Rolo dos Moinhos revelou-se a menos preocupante, com concentrações máximas de apenas 1,7 mg/L; o teor de fluoreto nesta nascente apresentou-se quase sempre constante para o período em estudo. Também no âmbito da caracterização do caso de estudo foi feita a distribuição das nascentes por teor médio de fluoretos. Ao longo dos cinco anos do período de estudo (2008-2012), foi em 2008 que se registaram os valores mais elevados na nascente das Frechas, de aproximadamente 4 mg/L de fluoreto.

Este trabalho permitiu ainda comparar o teor de fluoretos com a precipitação observada. Para identificar os anos secos e húmidos, foi comparada a precipitação observada e a precipitação normal, bem como a precipitação observada acumulada e a precipitação normal acumulada para o período em estudo, após a análise, determinou-se que 2010 foi o ano mais húmido deste período, seguindo o ano de 2008. O ano de 2009 foi, por sua vez, o ano mais seco, seguindo-se os anos de 2011 e 2012, estes dois revelando-se muito semelhantes entre si. Quanto à influência da precipitação no teor de fluoretos encontrado nas nascentes, esta foi observada directamente ao longo do tempo para o período em estudo, tendo em conta o Tempo de Residência Hidráulico (TRH) da água nos aquíferos espectável de um mês a dois meses, e ainda comparando a sua média diária com o teor de fluoretos. Além do tempo de residência hidráulico estudaram-se também outros factores do meio ambiente como a própria litologia da zona de recarga dos aquíferos. Determinou-se que o TRH, para influenciar o fluoreto, deve ser de dois ou três meses. Quanto à influência da litologia, verificou-se que, devido às nascentes em estudo estarem localizadas no Centro Vulcânico do Pico Alto, estas possuem concentrações mais elevadas de fluoreto. Este factor deve-se às formações peralcalinas do Pico Alto, pois as substâncias desta rocha são muito vulneráveis à alteração, sendo dissolvidas pela água quando esta passa na rocha e incorpora-as na sua composição, levando à existência de fluoretos na água das nascentes.

Quanto à avaliação das consequências a nível da saúde pública verificou-se que o índice de fluorose médio é maior para a freguesia da Agualva, seguindo-se a freguesia de São Brás e, por último a freguesia da Vila Nova. Este facto é indicador de que índices de fluorose mais graves encontram-se na freguesia da Agualva. Na distribuição do índice de fluorose dentária concluiu-se que 50% das crianças da amostra, para a zona afectada, não apresentam



fluorose dentária e que 25% já apresentem uma condição questionável. Verificou-se também que a freguesia da Agualva é a que tem um maior número de crianças com fluorose dentária, seguindo-se a freguesia de São Brás e em último a freguesia da Vila Nova, as duas últimas com resultados semelhantes entre si. Verificou-se que os índices de fluorose mais grave foram registados nas crianças mais velhas. Na distribuição do índice de fluorose pela dentição obteve-se que existem mais casos de fluorose associados à dentição definitiva do que associados à dentição de leite. A freguesia da Agualva apresentou-se novamente como a mais problemática, seguindo-se a freguesia de São Brás, com piores resultados relativamente à dentição de leite, e por último a freguesia da Vila Nova, com os melhores resultados. Ainda neste contexto, tanto para a dentição de leite, como para a dentição definitiva, as crianças mais jovens foram as que apresentaram menos casos de fluorose, enquanto as crianças mais velhas apresentaram mais casos fluorose dentária, com índices mais graves.

Analisando os resultados dos índices de fluorose por grupo etário, e atendendo a que o ano de 2008 foi o que registou valores mais elevados de fluoreto na nascente de Frechas, cerca de 4 mg/L, seria espectável que as crianças daquela zona de abastecimento, que engloba Agualva e Vila Nova, apresentassem índices de fluorose semelhantes. Com efeito, os grupos etários analisados de 9, 10, 11 e 12 anos, em 2008 tinham 5, 6, 7 e 8 anos respectivamente, e portanto, ingeriram daquela água durante a formação da dentição. No entanto, como atrás foi referido, a incidência de fluorose na Vila Nova é muito inferior à verificada na freguesia da Agualva.

Sendo assim, tendo em conta os resultados obtidos ao longo deste trabalho, tem-se que, para os teores de fluoreto presentes na água de consumo do concelho da Praia da Vitória existem consequências a nível da saúde pública, mais precisamente em termos de saúde oral. Estas consequências, contudo, apesar de não se poderem considerar graves, correspondem a uma situação de doença, aparentemente provocada pela ingestão de água. Concluiu-se ainda que o teor de fluoretos nas nascentes é influenciado indirectamente por factores do meio ambiente como a precipitação observada, o tempo de residência hidráulico e a litologia da zona de recarga dos aquíferos.

Embora o presente trabalho tenha focado diferentes aspectos relativamente aos fluoretos, é recomendável o aprofundamento da investigação relativa a esta temática. Desta forma, termina-se este trabalho com a apresentação de um conjunto de sugestões para a



melhoria e possíveis desenvolvimentos futuros, no âmbito do tema aqui apresentado. Estas são as seguintes:

- Estudar outros factores do meio ambiente que possam influenciar o teor de fluoretos encontrado nas nascentes do concelho (pH, temperatura, alcalinidade, entre outros);
- Estudar a composição geológica da zona de recarga dos aquíferos e compará-la à água associada a essas zonas;
- Avaliar as consequências para a saúde pública do teor de fluoretos nas outras freguesias da zona afectada, num cenário de mistura de águas de nascentes com mais fluoretos com outras que apresentam deficiência deste parâmetro;
- Perceber o que está na origem da diferença entre a incidência de fluorose dentária nas freguesias da Agualva, São Brás e Vila Nova, nomeadamente com amostras de maior dimensão e estabelecendo um plano de monitorização ao longo do tempo para avaliar resultados de medidas implementadas para regularizar o teor de fluoretos na água de consumo aos valores paramétricos;
- Fazer um estudo de casos reais de tecnologias de tratamento para remoção de fluoreto da água;
- Fazer uma avaliação custo/benefício dos possíveis sistemas de remoção de fluoreto a instalar no concelho da Praia da Vitória.



## Referências Bibliográficas

Agostinho, J. (2009). *Precipitação Mensal*. Acedido em: 17 de Janeiro de 2013, em: <http://www.climaat.angra.uac.pt/produtos/mensais/mensais.htm>.

Arora, M., Maheshwari, R.C., Jain, S.K. e Gupta, A. (2004). *Use of membrane technology for potable water production*. *Desalination*, 170 (2004) 105-112.

Bettencourt, V. (2013<sup>a</sup>). Comunicação escrita transmitida em 28 de Fevereiro de 2013.

Bia, G., Pauli, C.P. e Borgnino, L. (2012). *The role of Fe (III) modified montmorillonite on fluoride mobility: Adsorption experiments and competition with phosphate*. *Journal of Environmental Management*, 100 (2012) 1-9.

Bregnhøj, H. (1997). *Critical sustainability parameters in defluoridation of drinking water*. 2<sup>nd</sup> International Workshop on Fluorosis and Defluoridation of Water.

Brito, A.G., Oliveira, J.M. e Peixoto, J.M. (2010). *Tratamento de água para consumo humano e uso industrial. Elementos teórico-práticos*. Engenho e Média, Lda | Grupo Publindústria. Porto.

Brunt, R., Vasak, L e Griffioen, J. (2004). *Fluoride in Groundwater: Probability of occurrence of excessive concentration on global scale*. IGRAC. Report nr. SP 2004-2. Acedido a 5 de Outubro de 2012, em: [http://www.un-igrac.org/dynamics/modules/SFIL0100/view.php?fil\\_Id=125](http://www.un-igrac.org/dynamics/modules/SFIL0100/view.php?fil_Id=125).

Chandrajith, R., Dissanayake, C.B., Arivarathna, T., Herath, H.M.J.M.K. e Padmasiri, J.P. (2011). *Dose-dependent Na and Ca in fluoride-rich drinking water – Another major cause of chronic renal failure in tropical arid regions*. *Science of the Total Environment*, 409 (2011) 671-675.

Cordeiro, S., Coutinho, R. e Cruz, J. V. (2012). *Fluoride content in drinking water supply in São Miguel volcanic island (Azores, Portugal)*. *Science of the Total Environment*, 432 (2012) 23-36.



Costa, A.C.F.M., Lima, M.G., Lima, L.H.M.A., Cordeiro, V.V., Viana, K.M.S., Souza, C.V. e Lira, H.L. (2009). *Hidroxiapatita: Obtenção, caracterização e aplicações*. *Revista electrónica de Materiais e Processos*, v.4.3 (2009) 29-38. ISSN 1809-8797.

Davis, M.L. (2010). *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. The McGraw Hill Companies, Inc.

Decreto-lei nº 236/98 de 1 de Agosto. *Diário da República nº 176 – Série I-A*. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto. *Diário da República nº 164 – 1ª Série*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Diesendorf, M. (1995). *How science can illuminate ethical debates. A case study on water fluoridation*. *Fluoride* Vol. 28 No. 2 87-104 1995.

Blog ELSEVIER Saúde. (2012). *Tecido Conjuntivo: Estrutura Óssea*. Acedido a 17 de Setembro e 2013, em: <http://blogelseviersaude.elsevier.com.br/medicina/tecido-conjuntivo-estruturassea/>.

Eswar, P. e Devaraj, C.G. (2011). *Water defluoridation: Field studies in India*.

Fawell, J., Bailey, K., Chilton, J., Dahi, E., Fewtrell, L. e Magara, Y. (2006). *Fluoride in Drinking-water*. Publicado em nome da Organização Mundial de Saúde por IWA Publishing, Alliance House, 12 Caxton Street, London SW1H 0QS, UK.

Fordyce, F. M., Vrana, K., Zhovinsky, E., Povoroznuk, V., Toth, G., Hope, B. C., Iljinsky, U. e Baker, J. (2007). *A health risk assessment for fluoride in Central Europe*.

Goswami, A. e Purkait, M. K. (2012). *The defluoridation of water by acidic alumina*. *Chemical engineering research and design*, 90 (2012) 2316-2324.



Grivicich, I., Regner, A. e Rocha A.B. (2007). *Morte celular por apoptose. Apoptosis: Programmed Cell Death. Revista Brasileira de Cancerologia* 2007; 53(3); 335-343.

*Guidelines for Drinking-water Quality.* (2011). Acedido a 5 de Outubro no Web site da World Health Organization (WHO).

Harrison, P.T.C. (2005). *Fluoride in water: a UK perspective. Journal of Fluoride Chemistry*, 126 (2005) 144-1456.

Horowitz, H.S., Maier, F.J. e Law, F.E. (1967). *Partial Defluoridation of a Community Water Supply and Dental Fluorosis.*

Kornegay, B.H. (1978). Activated Carbon for Taste and Odor Control. Em: Sanks, R.L. (ed.), *Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer.* Ann Arbor Science Publishers, Inc.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). (1997). *Estudo Hidrogeológico das Nascentes do Cabrito (ilha Terceira – Açores).* Departamento de Hidráulica. Grupo de Investigação de Águas Subterrâneas. Proc. 607/1/12092.

Lobo, M.A.G. (1993). *Contribuição para o estudo físico-químico e microbiológico da água para consumo humano do arquipélago dos Açores. Anexo III – Resultados físico-químicos e microbiológicos das Ilhas Graciosa, Terceira e Santa Maria.* Tese de Doutoramento em Mesologia. Departamento de Ciências Agrárias – Universidade dos Açores, Terra Chã. 344 pp.



Mandinic, Z., Curcic, M., Antonijevic, B., Carevic, M., Mandic, J., Djukic-Cosic, D. e Lekic, C.P. (2010). *Fluoride in drinking water and dental fluorosis. Science of the Total Environment*, 408 (2010) 3507-3512.

Medina-Solis, C.E., Pontigo-Loyola, A. P., Maupome, G., Lamadrid-Figuerona, H., Loyola-Rodríguez, J.P., Hernández-Romano, J., Villalobos-Rodelo, J.J. e Marquez-Corona, M.L. (2007). *Dental fluorosis prevalence and severity using Dean's index based on six teeth and on 28 teeth. Clin Oral Invest*, (2008) 12:197-202.

Mendes, B. e Oliveira, J. (2004). *Qualidade da Água para Consumo Humano*. Lidel – edições técnicas, Lda. Lisboa.

*Normais Climatológicas da Ilha Terceira*. (1990). Acedido em: 17 de Janeiro de 2013, em: <http://www.climaat.angra.uac.pt/produtos/normais/terceira.htm>.

Nusbaum, I. e Riedinger, A.B. (1978). *Water Quality Improvement by Reverse Osmosis*. Em: Sanks, R.L. (ed.), *Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer*. Ann Arbor Science Publishers, Inc.

Pons, A.H. e Pinto, L.M.O. ([s.d.]). *Citotoxicidade na doença de Chagas*. Acedido a 18 de Setembro de 2013, em: <http://www.fiocruz.br/chagas/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=166>.

Quaresma, J.E. ([s.d.]). *Lei de Darcy e Aquíferos*. Acedido a 25 de Setembro de 2013, em: [http://albatroz.shs.eesc.usp.br/~ew/SHS-5854/aulas/aula\\_3\\_parafisicos2.pdf](http://albatroz.shs.eesc.usp.br/~ew/SHS-5854/aulas/aula_3_parafisicos2.pdf).



Rango, T., Kravchenko, J., Atlaw, B., McCornick, P.G., Jeuland, M., Merola, B. e Vengosh, A. (2012). *Groundwater quality and its health impact: An assessment of dental fluorosis in rural inhabitants of the Main Ethiopian Rift*. *Environment International*, 43 (2012) 37-47.

Rodrigues, A. F. F., Rodrigues, F. C. e Bettencourt, V. (2009). *Análise probabilística de risco de contracção de cárie dentária e fluorose dentária no concelho da Praia da Vitória (Terceira – Açores)*. 9º Encontro Química dos Alimentos.

Rodrigues, F.C. (2002). *Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores – Portugal)*. Tese de Doutoramento em Engenharia do Ambiente. Departamento de Ciências Agrárias – Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo. 417 pp.

Rodrigues, F.C. (2013a). Comunicação escrita transmitida em 16 de Abril de 2013.

Rodrigues, F.C. (2013b). Comunicação oral transmitida em 18 de Setembro de 2013.

Rygaard, M., Arvin, E. e Binning P.J. (2008). *The valuation of water quality: effects of mixing different drinking water qualities*. *Water research*, 43 (2009) 1207-1218.

Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHER). (2011). *Critical review of any new evidence on the hazard profile, health effects, and human exposure to fluoride and the fluoridating agents of drinking water*.

Silva, A.C.S. (2008). *Fisiologia Tubular*. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Medicina. Departamento de Pediatria.



Soares, H. M. (2007). *Tratamento de Efluentes*. Acedido a 5 de Outubro de 2012, em: <http://pt.scribd.com/doc/63460243/19/Coagulacao-Floculacao>.

Tchobanoglous, G., Burton, F.L. e Stensel, H.D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fourth Edition, McGraw Hill Companies, Inc.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2011). *Questions and Answers on Fluoride*. Acedido a 25 de Setembro de 2012, em: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/basicinformation/fluoride.cfm>.

Viswanathan, G., Jaswanth, A., Gopalakrishnam, S., e Siva, S. (2008). *Mapping of fluoride endemic areas and assessment of fluoride exposure*. *Science of the Total Environment*, 407 (2009) 1579-1578.

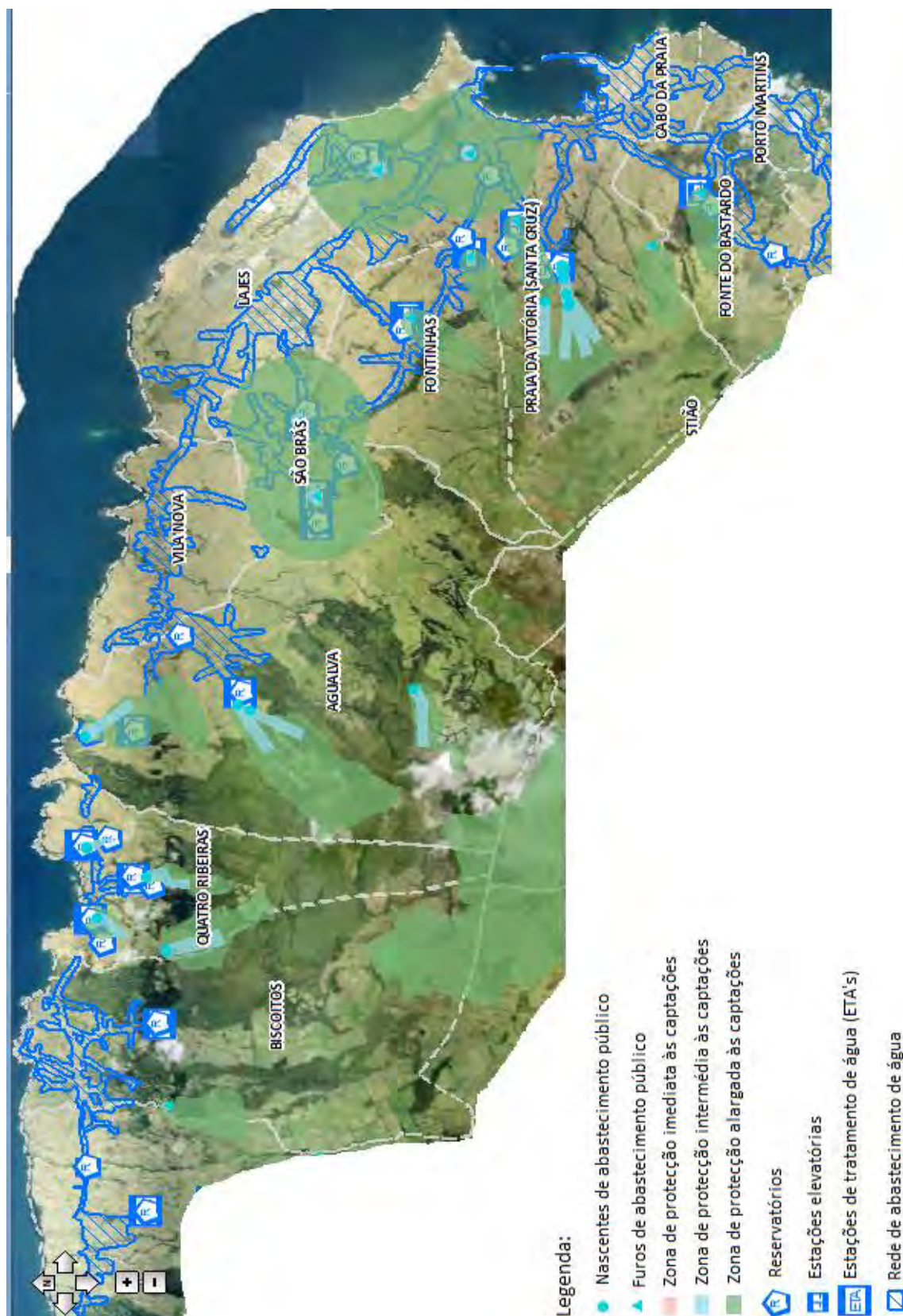
World Health Organization. (2004). *Fluoride in Drinking-Water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*.



# Anexos



## Anexo 1 – Rede de abastecimento de água do concelho da Praia da Vitória



**Figura 10** – Rede de abastecimento completa do concelho da Praia da Vitória (Fonte: <http://sig.sram.azores.gov.pt/SRAM/site/SRIA/>)



Anexo 2 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária

RASTREIO DE SAÚDE ORAL – FLUOROSE DENTÁRIA realizado a 30 de Setembro de 2013  
 Unidade de Saúde da Ilha Terceira - Centro de Saúde da Praia da Vitória  
 Escola Básica Integrada da Praia da Vitória e Universidade dos Açores

**FOLHA DE REGISTO**

<b>DADOS GERAIS</b>	
N.º DE REGISTO DA OBSERVAÇÃO	SEXO (M = 1; F = 2)
IDADE em anos	FREGUESIA DE ORIGEM (1=Aguaiava; 2=Vila Nova; 3=São Brás)
CONTRAINDICAÇÕES AO EXAME:	
<b>EXAME CLINICO</b>	
18 17 16 15 14 13 12 11 21 22 23 24 25 26 27 28 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (81)	ESCALA DO ÍNDICE DE DEAN 0 = NORMAL 1 = QUESTIONÁVEL 2 = MUITO SUAVE 3 = SUAVE 4 = MODERADO 5 = SEVERO
85 84 83 82 81 71 72 73 34 35 36 37 38 48 47 46 45 44 43 42 41 31 32 33 34 35 36 37 38 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (129)	

Rastreio de saúde oral realizado no âmbito da tese de mestrado "Avaliação de Fluoretos na Água de Consumo do Concelho da Praia da Vitória (Ilha Terceira, Açores) e suas Consequências a Nível da Saúde Pública" (em desenvolvimento).

Figura 11 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária (1/2)

Anexo

Códigos da dentição "definitiva" e "de leite", WHO (1997)



Fig. 1. Permanent teeth codes

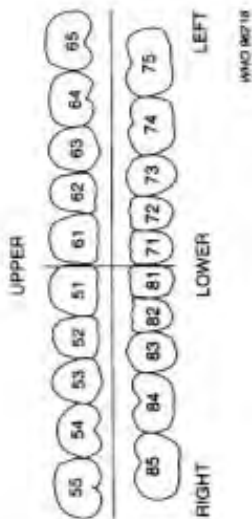


Fig. 2. Primary teeth codes

Diversos estágios da fluorose dentária

(Fonte: <http://www.fluoridealert.org/issues/fluorosis/>)



Rastreio de saúde oral realizado no âmbito da tese de mestrado "Avaliação de Fluoretos na Água de Consumo do Concelho da Praia da Vitória (Ilha Terceira, Açores) e suas Consequências a Nível da Saúde Pública" (em desenvolvimento).

Figura 12 – Folha de registo utilizada no rastreio de fluorose dentária (2/2)