



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, Gaiteiro, Gaiteiro 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.



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 (CaF_2), o topázio ($\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}(\text{OH})_2)$) e a criolite (Na_2AlF_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.