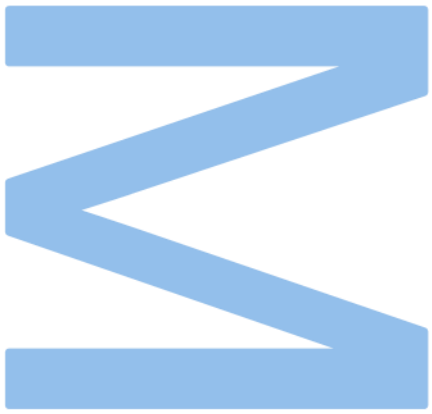
Controlo operacional de águas para consumo humano e águas residuais na Penafiel Verde, E.M.

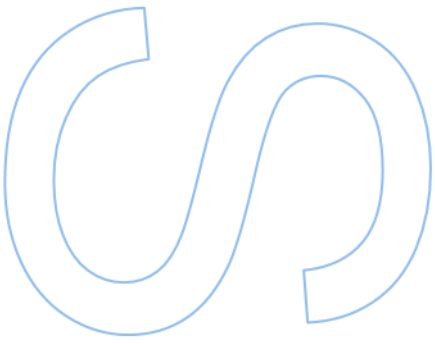
Vasco Rafael dos Santos Ferreira
Mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água
Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2021/2022

Orientador
Luís Filipe Pereira de Oliva Teles, Professor Auxiliar, PhD, FCUP

Supervisor
Álvaro Alexandre Vieira Pedroso, MSc, Penafiel Verde, E.M.


U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO







Declaração de Honra

Eu, Vasco Rafael dos Santos Ferreira, inscrito no Mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto declaro, nos termos do disposto na alínea a) do artigo 14.º do Código Ético de Conduta Académica da U.Porto, que o conteúdo do presente relatório de estágio reflete as perspetivas, o trabalho de investigação e as minhas interpretações no momento da sua entrega.

Ao entregar este relatório de estágio, declaro, ainda, que o mesmo é resultado do meu próprio trabalho de investigação e contém contributos que não foram utilizados previamente noutros trabalhos apresentados a esta ou outra instituição.

Mais declaro que todas as referências a outros autores respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências bibliográficas. Não são divulgados no presente relatório de estágio quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor.

Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Vasco Rafael dos Santos Ferreira

Perozelo, 05 de setembro de 2022

Agradecimentos

Dada a oportunidade, deixo aqui registado os meus agradecimentos às várias pessoas a quem os mesmos são devidos, pela sua ajuda na realização deste estágio de forma bem-sucedida.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu supervisor Álvaro Pedroso e à Presidente Alexandra Almeida, assim como a todos os colaboradores da Penafiel Verde, E.M., pela oportunidade de estagiar numa empresa conceituada, onde fui recebido de braços abertos por toda a equipa, sempre com apoio e incentivos constantes para todas as atividades propostas.

Aproveito também para agradecer ao Professor Doutor Luís Filipe Pereira de Oliva Teles e à Professora Doutora Maria da Natividade Ribeiro Vieira pela ajuda imprescindível, não só no presente estágio, mas durante todo o meu percurso académico.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer profundamente aos meus pais e restante família, cujo suporte financeiro e emocional me permitiu continuar a estudar de forma bem-sucedida.

Resumo

O presente estágio, desenvolvido na Penafiel Verde, E.M., teve como objetivo a aplicação de conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água, assim como conhecer o funcionamento de uma empresa municipal ligada à gestão de águas, sendo desenvolvidas atividades inerentes à mesma e relacionadas ao tratamento, análise e qualidade de águas para consumo e águas residuais.

Assim, foi desenvolvido neste estágio um estudo de vários tópicos relacionados ao controlo operacional das águas para consumo e residuais do concelho de Penafiel, ao serem averiguados três pontos de interesse: a influência na sua qualidade do transporte da água para consumo pela rede de adução e distribuição, a averiguação da presença de contaminantes emergentes na água para consumo e o início da aplicação de um controlo analítico efetuado pela própria Penafiel Verde, E.M. nas águas residuais.

O desenvolvimento das atividades referidas permitiu desta forma consolidar os conhecimentos obtidos no curso em questão, tal como concluir várias tarefas de importante contributo para a verificação da boa qualidade da água distribuída para consumo, assim como futura implementação de um programa de controlo para validação do descarte em segurança das águas residuais tratadas.

Palavras-chave: Águas para consumo, Águas residuais, Rede de adução e distribuição, Contaminantes emergentes, Controlo analítico, Controlo operacional.

Abstract

The present internship, carried out at Penafiel Verde, E.M., aimed to apply the knowledge acquired during the master's degree in Biology and Water Quality Management, in addition to get to know the operations of a municipal company related to water management and to developed activities inherent to said company and associated to the treatment, analysis and the quality of drinking water and wastewater.

Thus, a study of several topics related to the operational control of drinking water and wastewater in the municipality of Penafiel was developed, focusing on three points of interest: the influence on the quality of drinking water by the transport of said water throw the adduction and distribution system, the investigation of the presence of contaminants of emerging concern in drinking water and the beginning of the application of an analytical control carried out by Penafiel Verde, E.M. in wastewater.

The development of the activities mentioned above made it possible to consolidate the knowledge obtained in the course in question, as well as to complete several tasks of important contribution to the verification of the good quality of the water distributed for consumption, as well as the future implementation of a control program to validate the safe disposal of treated wastewater.

Keywords: Drinking water, Wastewater, Water adduction and distribution system, Contaminants of emerging concern, Analytical control, Operational control.

Índice

Lista de Tabelas viii
Lista de Gráficos ix
Lista de Figuras x
Lista de Abreviaturas xii
1. Introdução 1
1.1. Enquadramento 1
1.2. Objetivos 1
2. Penafiel Verde, E.M. 3
3. Água para consumo em Penafiel 4
3.1. Introdução: Importância da qualidade da água para consumo humano 4
3.2. Fonte e tratamento da água para consumo 4
3.3. Distribuição da água para consumo 7
3.4. Análises da água para consumo 8
4. Águas residuais em Penafiel 10
4.1. Introdução: tratamento de águas residuais 10
4.2. ETAR compactas 11
4.2.1. Pré-tratamento 12
4.2.2. Tratamento secundário 13
4.2.3. Decantação secundária 14
4.2.4. Descarga do efluente tratado 15
4.3. ETAR de Termas de S. Vicente 15
4.3.1. Entrada do afluente e pré-tratamento 16
4.3.2. Tratamento primário 18
4.3.3. Tratamento secundário 18
4.3.4. Decantação secundária e descarga do efluente tratado 21
4.3.5. Tratamento de lamas 21
4.3.6. Circuitos de lamas das fossas sépticas, ar viciado e escorrências 23

4.4. ETAR de Paço de Sousa 24
4.4.1. Tratamento de águas residuais 25
4.4.2. Tratamento de lamas e produção de biogás 25
4.5. Análises das águas residuais 26
5. Influência do transporte da água na sua qualidade: ferro, manganês e oxidabilidade 28
5.1. Introdução: Presença de ferro, manganês e matéria orgânica na água para consumo 28
5.2. Materiais e métodos 29
5.2.1. Rede de adução (transporte entre reservatórios) 31
5.2.2. Último reservatório e respetivo fim de rede 32
5.2.3. Transporte até uma residência particular 33
5.2.4. Transporte até à ETAR de Termas de S. Vicente 33
5.2.5. Impacto da idade das tubagens 34
5.3. Resultados e discussão 35
5.3.1. Rede de adução (transporte entre reservatórios) 35
5.3.2. Último reservatório e respetivo fim de rede 37
5.3.3. Transporte até uma residência particular 37
5.3.4. Transporte até à ETAR de Termas de S. Vicente 38
5.3.5. Impacto da idade das tubagens 39
5.4. Conclusões e recomendações 40
6. Presença de contaminantes emergentes nas águas da Penafiel Verde, E.M. 42
6.1. Introdução: Contaminantes emergentes 42
6.1.1. Ácidos haloacéticos 43
6.1.2. Bisfenol A 44
6.1.3. PFAS 45
6.1.4. Fármacos 45
6.2. Materiais e métodos 47
6.3. Resultados e discussão 49
6.3.1. Ácidos haloacéticos 49

6.3.2. Bisfenol A 50
6.3.3. PFAS 51
6.3.4. Fármacos 52
6.4. Conclusões e recomendações 54
7. Controlo analítico de parâmetros de descarga de efluentes de ETAR 56
7.1. Introdução: Parâmetros de descarga de efluentes 56
7.2. Materiais e métodos 56
7.2.1. pH 57
7.2.2. Carência química de oxigénio (CQO) 58
7.2.3. Azoto total (N) 59
7.2.4. Fósforo total (P) 60
7.3. Resultados e discussão: Exemplo real 61
7.3.1. pH 61
7.3.2. Carência química de oxigénio (CQO) 61
7.3.3. Azoto total (N) 62
7.3.4. Fósforo total (P) 63
7.4. Conclusões e recomendações 63
Referências bibliográficas 64
Anexo I. Sugestões para elaboração do Programa de Controlo Operacional (PCO) para a água para consumo da Penafiel Verde, E.M. 70

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Lista das várias ETAR compactas presentes no concelho de Penafiel. 12
Tabela 2 – Valores limite de emissão (VLE) para os vários parâmetros requeridos de serem pesquisados nas várias ETAR da Penafiel Verde, E.M. 27
Tabela 3 – Métodos de análise usados pelo laboratório, limites de quantificação respetivos e valores paramétricos dos três parâmetros em estudo. 30
Tabela 4 – Limites de quantificação (µg/l) propostos pelo laboratório externo contratado para a averiguação dos vários fármacos nomeados.....47

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Valores registados ao longo da rede de adução para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).....37
Gráfico 2 – Valores registados para a origem de água, para a residência perto do último reservatório e para o fim de rede do último reservatório (última residência) para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).....37
Gráfico 3 – Valores registados para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade até à residência estudada, incluindo a origem de água, o último reservatório que fornece a residência em questão (reservatório de Cabeça Santa) e três pontos intermédios de estudo. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l). ..38
Gráfico 4 – Valores registados para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade até à ETAR de Termas de S. Vicente, englobando a origem de água, o último reservatório do percurso (reservatório de Cabeça Santa) e dois pontos intermédios de estudo. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).....39
Gráfico 5 – Comparação da influência da idade de tubagens nos parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade em Rio Mau. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).....40
Gráfico 6 – Resultados obtidos da concentração de ácidos haloacéticos no local averiguado (Duas Igrejas), no dia 5 de abril de 2022, às 14h30 (aproximadamente). Os valores dos ácidos monocloroacético, monobromoacético e tribromoacético ficaram abaixo do limite de quantificação do método usado pelo laboratório.....50
Gráfico 7 – Resultados obtidos da concentração de bisfenol A na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente), comparativamente ao valor paramétrico apresentado na Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020. 51
Gráfico 8 – Resultados obtidos da concentração das três PFAS analisados (PFOA, PFOS e PFOSA) na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente). 52
Gráfico 9 – Resultados obtidos da concentração dos fármacos detetados na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente).....53
Gráfico 10 – Resultados obtidos da concentração dos fármacos detetados na água residual tratada, do dia 4 para 5 de abril de 2022, através da análise de uma amostra composta de 24 horas na ETAR de Termas de S. Vicente.....54

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema representativo da captação de água no rio Tâmega. 5
Figura 2 – Foto do sistema de cloragem e de deteção de cloro residual livre presentes na ETA (reservatório de Rio de Moinhos). 7
Figura 3 – Imagem da ETAR de Termas de S. Vicente e legenda dos principais órgãos e edifícios presentes. Imagem original retirada de Google Maps (30/08/2022).....16
Figura 4 – Leito percolador presente na ETAR de Termas de S. Vicente. 20
Figura 5 – Tanque de arejamento presente na ETAR de Termas de S. Vicente. 21
Figura 6 – Recipientes de PEAD usados para recolha de água residual. 27
Figura 7 – Recipientes usados para recolha de água para análise dos parâmetros estudados, da esquerda para a direita: oxidabilidade, ferro e manganês.....30
Figura 8 – Localização dos vários reservatórios da Penafiel Verde, E.M. (marcas a preto e pontos coloridos) e da rede de adução (linha a amarelo) no concelho de Penafiel.....32
Figura 9 – Localização do reservatório de Sebolido, da residência estudada pela maior distância a este reservatório (circulada a vermelho) e da habitação imediatamente depois do reservatório onde foi recolhida a amostra. A rede de distribuição encontra-se realçada a azul. 33
Figura 10 – Percurso até à residência em estudo desde o respetivo reservatório que a abastece (tom azul-claro, realçado), incluindo três pontos intermédios do respetivo percurso. 33
Figura 11 – Vários pontos estudados ao longo do percurso até à ETAR de Termas de S. Vicente. A tom de azul-claro realçado encontra-se o percurso até à residência também estudada (para comparação).....34
Figura 12 – Pontos estudados para comparação da influência na qualidade da água da idade das tubagens: habitação fornecida por rede nova, habitação fornecida por rede antiga e ramificação destes dois percursos.....35
Figura 13 – Informações e mapa indicando o local (indicador vermelho) onde foi efetuada a amostram de água para pesquisa dos ácidos haloacéticos, tal como o percurso desde o último reservatório até esse local. Fonte: Google Maps (27/11/2022).....48
Figura 14 – Fotómetro (à esquerda) e reator (à direita) adquiridos para a análise de vários parâmetros relativos às águas residuais. 57
Figura 15 – Resultado do pH da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022). 61
Figura 16 – Resultado da análise de CQO da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022). 62

Figura 17 – Resultado da análise de azoto total da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022). 62
Figura 18 – Resultado da análise de fósforo total da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022). 63

Lista de Abreviaturas

APA	AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE
CBO_5	CARÊNCIA BIOQUÍMICA DE OXIGÉNIO AO FIM DE 5 DIAS
CQO	CARÊNCIA QUÍMICA DE OXIGÉNIO
E.M.	EMPRESA MUNICIPAL
ERSAR	ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUAS E RESÍDUOS
ETA	ESTAÇÃO/ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA
ETAR	ESTAÇÃO/ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS
Fe	FERRO
HAA5	CONJUNTO DE CINCO ÁCIDOS HALOACÉTICOS: ÁCIDO MONOCLOROACÉTICO, ÁCIDO DICLOROACÉTICO, ÁCIDO TRICLOROACÉTICO, ÁCIDO MONOBROMOACÉTICO E ÁCIDO DIBROMOACÉTICO
HAA9	CONJUNTO DE NOVE ÁCIDOS HALOACÉTICOS, ENGLOBANDO OS HAA5 E O ÁCIDO TRIBROMOACÉTICO, O ÁCIDO BROMOCLOROACÉTICO, O ÁCIDO DIBROMOCLOROACÉTICO E O ÁCIDO BROMODICLOROACÉTICO
IRAR	INSTITUTO REGULADOR DE ÁGUAS E RESÍDUOS (ATUALMENTE DESIGNADO DE ERSAR)
Mn	MANGANÊS
N	AZOTO
O_2	MOLÉCULA DE OXIGÉNIO
P	FÓSFORO
PCO	PROGRAMA DE CONTROLO OPERACIONAL
PCQA	PROGRAMA DE CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA
PEAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE
PFAS	SUBSTÂNCIAS PERFLUOROALQUILADAS E POLIFLUOROALQUILADAS (PER- AND POLYFLUOROALKYL SUBSTANCES)
PFOA	ÁCIDO PERFLUOROOCTANÓICO
PFOS	ÁCIDO PERFLUOROOCTANOANOSSULFÓNICO
PFOSA	PERFLUOROOCTANOSSULFONAMIDA

PLC	CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)
PVC	POLICLORETO DE VINIL
SBR	SEQUENCING BATCH REACTOR
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
VLE	VALOR(ES) LIMITE DE EMISSÃO

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água aborda os vários aspetos da qualidade da água ligados a problemas de saúde pública, desde aspetos biológicos, a parâmetros químicos e compostos de perigo conhecido ou suspeito. Também é fornecido conhecimento relativo aos vários processos de tratamento de água para consumo tal como de tratamento de águas residuais, dois aspetos extremamente importantes para garantir a boa saúde comunitária e prevenir o degradamento ambiental devido a efluentes urbanos.

Neste contexto, insere-se o presente estágio frequentado numa empresa municipal relacionada ao fornecimento de água para consumo e ao tratamento de águas residuais. Dado que objetivo final é fornecer um bom serviço aos vários clientes da empresa em questão, Penafiel Verde, E.M., o estudo de várias propriedades da qualidade da água fornecida pela mesma empresa apresenta-se como essencial, tal como garantir que as águas residuais cujo descarte está sobre a responsabilidade da mesma seja feito dentro dos limites legais para os vários parâmetros de estudo requerido por lei.

Assim, de forma a ser implementado de forma prática o conhecimento adquirido no curso em questão, tal como aprofundado este mesmo conhecimento em vários aspetos que foram abordados e em aspetos relacionados, o presente estágio englobou o estudo de vários parâmetros importantes para a qualidade da água para consumo, a averiguação de possíveis compostos possivelmente perigosos mas ainda não globalmente pesquisados e a análise de efluentes urbanos para garantir a sua descarga em segurança, entre outras atividades relacionadas à atividade da empresa no âmbito de tratamento de águas.

1.2. Objetivos

O presente estágio teve como finalidade integrar e aprofundar o conhecimento obtido nas áreas abordadas pelo mestrado em Biologia e Gestão da Qualidade da Água, prestando da mesma forma um bom serviço à entidade onde se efetuou o estágio, resultando numa mais-valia para todas as partes envolvidas.

Neste estágio foram desenvolvidas várias atividades que se inserem no âmbito do mestrado em questão, sendo realçadas e abordadas três das mesmas por se inserirem no controlo operacional das águas para consumo e residuais, sendo as mesmas nomeadamente: o estudo da influência do transporte da água para consumo na sua qualidade, a averiguação da presença de contaminantes emergentes nas águas da Penafiel Verde, E.M. e o

desenvolvimento de procedimentos analíticos para análise de águas residuais. Dada a importância da boa qualidade da água para consumo, o estudo da mesma será prioritário. Dessa forma, foi examinada a influencia do transporte desta água na rede de adução e distribuição em três parâmetros sensíveis a este aspeto: a concentração de ferro e manganês e o valor de oxidabilidade. Da mesma forma, o estudo da possível existência de outros contaminantes ainda não pesquisados, os designados contaminantes emergentes, manifesta-se de interesse pelo seu perigo e conhecimento da presença ainda limitado, tendo por isso sido efetuado principalmente na água para consumo, mas também em águas residuais. Complementarmente, a análise das águas residuais tratadas é também de grande importância, sendo assegurada a qualidade da água tratada para descarte, e tendo sido para isso adquiridos equipamentos e reagentes e elaborados e aplicados procedimentos analíticos para determinação de vários parâmetros, nomeadamente do pH, CQO, azoto total e fósforo total, para a possibilidade da realização destas análises pela própria Penafiel Verde, E.M.

Adicionalmente, entre outras atividades que foram desenvolvidas no presente estágio, enumera-se também o desenvolvimento de um guia de sugestões para elaboração do Programa de Controlo Operacional (PCO) para a água para consumo da Penafiel Verde, E.M., presente no anexo I, que engloba várias recomendações para manter a boa qualidade da água para consumo da empresa municipal mencionada.

2. Penafiel Verde, E.M.

A Penafiel Verde, E.M. é uma empresa municipal fundada em 2006 responsável, por delegação do Município de Penafiel, pela captação, tratamento e distribuição da água para consumo humano neste concelho, de forma a fornecer aos habitantes ligados à rede pública de abastecimento água de boa qualidade e na quantidade necessária. Complementarmente, a Penafiel Verde, E.M. está também encarregue da drenagem e tratamento das águas residuais produzidas em Penafiel pelos clientes ligados à rede de saneamento, assegurando o transporte destes resíduos, tal como o seu eficaz tratamento e o cumprimento dos parâmetros de descarga das águas residuais (Penafiel Verde, 2021).

Desta forma, a Penafiel Verde, E.M. tem como objetivo principal o fornecimento de um bom serviço aos habitantes do concelho de Penafiel no que remete para a água para consumo fornecida e no eficaz tratamento das águas residuais produzidas neste concelho (Penafiel Verde, 2021). Para este fim, ambos os tipos de água passam por vários tratamentos de forma a estarem de acordo com a legislação em vigor, garantindo a segurança tanto para o consumidor como para o meio ambiente.

3. Água para consumo em Penafiel

3.1. Introdução: Importância da qualidade da água para consumo humano

Atualmente estamos conscientes de quanto a qualidade da água que ingerimos está ligada à saúde humana. Entre inúmeros aspetos, vários parâmetros físico-químicos e biológicos são preocupantes no que toca à qualidade da água ingerida.

Relativamente à qualidade de água consumida, a legislação atualmente em vigor que determina os vários parâmetros a serem pesquisados de forma a determinar a sua segurança trata-se do Decreto-lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, alterado pelo Decreto-lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. Adicionalmente, a Diretiva 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, que entrou em vigor em 12 de janeiro de 2021, trata-se também de uma diretiva relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano atualmente em vigor, diretiva esta que acerta novos parâmetros cuja pesquisa poderá começar a ser necessária na água para consumo.

Neste tópico, considerando que a Penafiel Verde, E.M. se trata de uma empresa responsável pelo tratamento e distribuição de água para consumo humano, a mesma deve assegurar que os vários possíveis tratamentos presentes, assim como as condições de transporte, asseguram a boa qualidade da água disponível na torneira do consumidor, de acordo com a legislação em vigor. Os próximos subcapítulos dizem respeito a vários detalhes relativos a este tópico.

3.2. Fonte e tratamento da água para consumo

A água fornecida pela Penafiel Verde, E.M. é captada no rio Tâmega, mais especificamente na freguesia de Eja, numa localidade conhecida como Entre-os-Rios por ser o local de confluência entre os rios Tâmega e Douro.

A captação de água é efetuada não no próprio rio, mas por baixo do mesmo, encontrando-se as tubagens que efetuam a recolha subterradas abaixo do leito aquático deste rio. Desta forma, é conseguido um processo de filtração lenta natural, permitindo dessa forma a recolha de água com melhores características para consumo, comparativamente à água bruta presente no próprio rio (Tâmega).

Este sistema de captação de água é constituído por cinco poços coletores com 2,5 metros de diâmetro e 32 metros de profundidade média, estando os mesmos interligados por drenos radiais instalados no subleito do rio Tâmega, sendo a água captada encaminhada pelos mesmos para três poços de bombagem, localizados na margem direita do rio Tâmega. A figura 1 esquematiza este sistema.

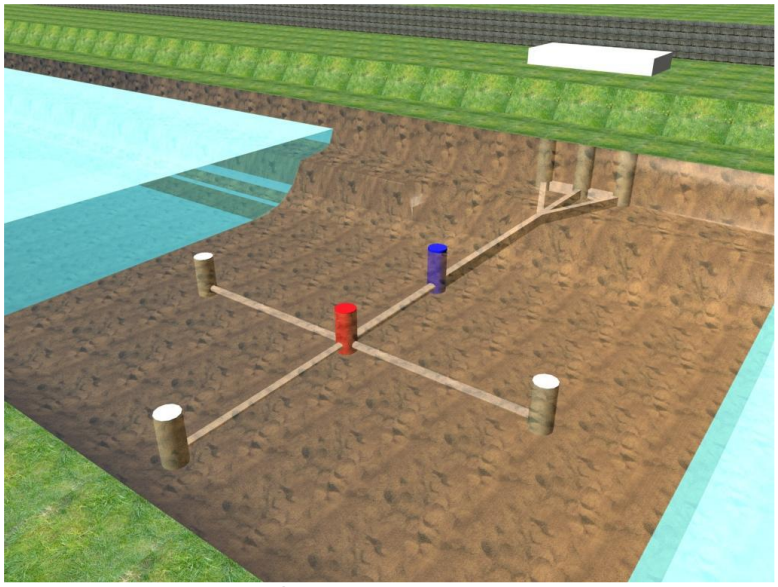


Figura 1 – Esquema representativo da captação de água no rio Tâmega.

Este sistema de recolha de água permite adquirir água de boa qualidade para distribuição e consumo, como registado nas várias análises efetuadas. Desta forma, apenas este simples processo natural de purificação de água se encontra em uso, sendo apenas efetuada a desinfeção da água antes da mesma ser distribuída para consumo.

A água, depois de recolhida por este sistema de filtração lenta, é transportada numa conduta de adução para o reservatório presente na vila de Rio de Moinhos onde se dá o único processo de tratamento efetuado – desinfeção –, estando depois a água pronta a ser distribuída para ser usada pela população abastecida. Este reservatório, que funcionando equivalentemente a uma Estação de Tratamento de Água (ETA), é constituído por três células, sendo que uma das mesmas possui uma capacidade unitária de 150 m^3 e as restantes duas possuem uma capacidade de 350 m^3 cada.

A desinfeção de água para consumo trata-se de um processo fundamental para garantir a segurança da água distribuída, ao ser usado algum processo que permita destruir os microrganismos presentes nessa água (Kraft, 2008). Relativamente ao processo usado pela Penafiel Verde, E.M., o sistema de desinfeção presente usa o hipoclorito de sódio como produto desinfetante, um químico bastante efetivo, mas com algumas consequências, como

a produção de subprodutos de desinfeção potencialmente perigosos (Kraft, 2008), tal como a possibilidade de deixar um cheiro e sabor na água pouco agradáveis.

Quanto ao mecanismo de ação deste desinfetante: ao ser adicionado à água, o cloro reage com compostos orgânicos, compostos inorgânicos, metais e outros compostos presentes na água, sendo de forma inicial efetivamente consumido e não estando mais disponível para desinfeção. O restante cloro adicionado que não reagiu continuará disponível e presente na água, sendo assim designado de cloro residual livre, e sendo este que efetivamente contribuirá para proteger a água tratada de microrganismos patogénicos ao longo do seu armazenamento (Centers for Disease Control and Prevention, 2022).

Realça-se, no entanto, que a concentração de cloro residual livre deverá diminuir ao longo da rede de distribuição de água. Este acontecimento poderá ocorrer devido ao cloro reagir, por exemplo, com compostos existentes na água ou até com o próprio material das tubagens (IRAR, 2007). Assim, de forma a manter uma concentração de cloro residual livre que permitirá evitar uma contaminação microbiológica, existem vários pontos de recloragem ao longo da rede de adução e distribuição de água do concelho de Penafiel, mantendo assim a boa qualidade da água para consumo.

O hipoclorito de sódio usado na desinfeção de água para consumo trata-se de uma solução aquosa deste químico com uma concentração em cloro ativo até 15% (m/m). O tratamento de desinfeção presente na ETA e nos vários pontos de recloragem da Penafiel Verde, E.M. é efetuado pela introdução de hipoclorito de sódio na água, sendo o mesmo adicionado automaticamente em função do valor de cloro residual lido por um sensor. A adição de hipoclorito de sódio continua a ser efetuada na água a ser tratada até o valor de cloro residual lido ser igual ao valor estabelecido no controlador. Este valor estabelecido pela Penafiel Verde, E.M. varia entre a ETA e os vários pontos de recloragem presentes ao longo do sistema de distribuição e adução, situando-se sempre, no entanto, entre 0,6 – 0,8 mg/L de cloro residual livre, de forma a assegurar que o teor de cloro residual livre aquando do consumo da água distribuída se encontre em níveis seguros e que a desinfeção da água seja assegurada.

Também nesta ETA, para além do cloro residual livre, é efetuada a leitura da turvação e do pH. Estes três parâmetros são monitorizados constantemente e em tempo real no sistema de telegestão da Penafiel Verde, E.M. A figura 2 ilustra o esquema de cloragem e de deteção de cloro residual livre presentes na ETA. Adicionalmente, também em todos os pontos de recloragem está presente um sensor de cloro residual livre, de forma a manter o nível necessário deste parâmetro ao longo da rede de distribuição, como mencionado anteriormente. Todos estes sensores são verificados, calibrados e/ou substituídos com frequência.

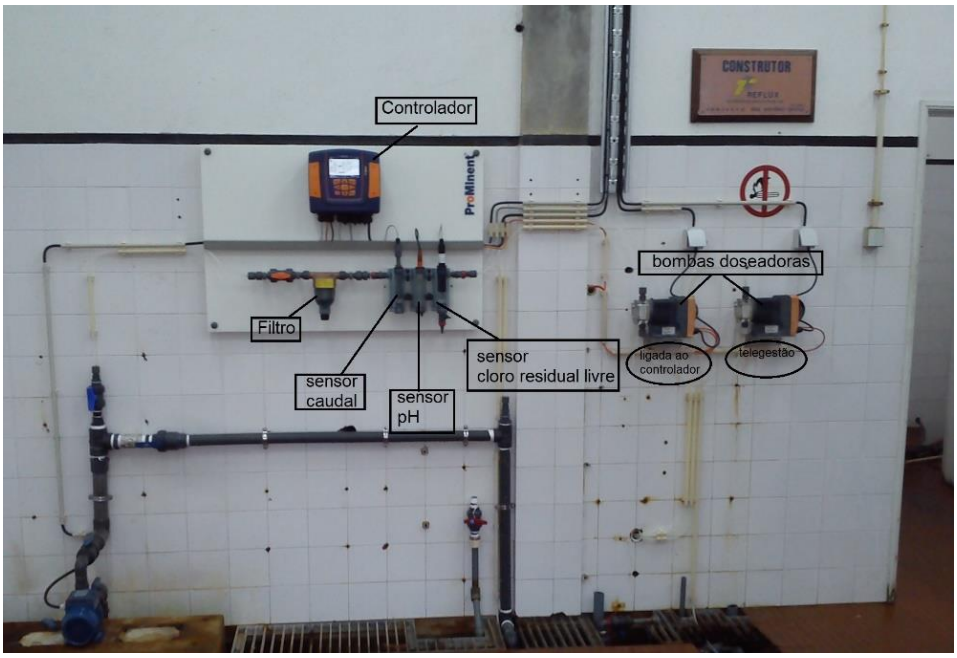


Figura 2 ─ Foto do sistema de cloragem e de deteção de cloro residual livre presentes na ETA (reservatório de Rio de Moinhos).

3.3. Distribuição da água para consumo

Depois do processo de cloragem na ETA, parte da água é distribuída pela rede de distribuição que sai deste reservatório para a população próxima ao mesmo, enquanto a maior parte é transportada para o próximo reservatório pela rede de adução. Este processo repete-se ao longo de toda a rede de distribuição da água para consumo englobando um conjunto de 16 reservatórios, espalhados por todo o concelho e assegurando assim a reserva de água para distribuição à população a que estão atribuídos, tal como, em alguns destes reservatórios, a recloragem da água para consumo. Este processo de recloragem ocorre de forma similar ao reservatório de Rio de Moinhos (ETA), sendo atualmente feito em 7 dos reservatórios mencionados: nos reservatórios de Perozelo, Duas Igrejas, Central (em Penafiel), Croca, Mesão Frio (em Valpedre), Canelas e Bustelo, garantindo dessa forma que o valor de cloro residual ativo se mantenha num nível seguro.

3.4. Análises da água para consumo

Baseado na legislação em vigor anteriormente mencionada, cada entidade gestora de sistemas de abastecimento público de água para consumo deve possuir um Programa de Controlo da Qualidade da Água (PCQA), tendo o mesmo de ser aprovado pela entidade competente para o mesmo, sendo esta a ERSAR. O PCQA trata-se de um plano anual que estabelece os vários parâmetros necessários de serem averiguados relativamente à qualidade da água distribuída, tal como a periodicidade de pesquisa dos vários parâmetros considerados e os pontos/localidades de averiguação ao longo da respetiva rede de distribuição de água. O PCQA é reexaminado todos os anos, sendo que as entidades gestoras propõem alterações ao mesmo consoante os valores obtidos para os vários parâmetros pesquisados em anos anteriores. Estas alterações propostas, se existentes, são depois analisadas e aprovadas pela ERSAR, sendo definido o PCQA para um novo ano civil.

Em Penafiel, o abastecimento de água encontra-se dividido entre duas zonas distintas: a Zona Baixa e a Zona Alta de abastecimento. A Zona Baixa encontra-se na parte sudeste do concelho de Penafiel, englobando as várias freguesias fornecidas pelos reservatórios de Rio de Moinhos, Cabeça Santa e Perozelo. A Zona Baixa possui na sua fronteira o rio Tâmega, sendo o mesmo a fonte de água para o abastecimento de toda esta Zona. A Zona Alta incorpora o resto do concelho não abrangido pela Zona Baixa e caracteriza-se pela eventualidade de água de origem distinta ao Tâmega puder ser incorporada nesta parte da rede de distribuição, através da aquisição da mesma à empresa Águas do Douro e Paiva, apesar de este não ser um procedimento habitual. Desta forma, dado que as propriedades da água presente nestas duas partes do sistema poderão ser diferentes (devido a origens diferentes), foi necessário estabelecer dois PCQA, um para cada Zona.

As análises às águas para consumo da Penafiel Verde, E.M. são atualmente efetuadas por um laboratório externo credenciado para a recolha e análise (ou subcontratação da análise) dos vários parâmetros englobados no PCQA em vigor, de forma similar a outras empresas municipais. Relativamente ao papel desempenhado pela empresa municipal nesta etapa, é necessário que, aquando da recolha das amostras de água para análise, um funcionário da empresa acompanhe o técnico de laboratório na operação de recolha das várias amostras agendadas, sendo este último indivíduo responsável pela apropriada recolha, armazenamento e transporte até ao laboratório a que pertence, que ficará encarregue de efetuar as análises pretendidas.

Relativamente à própria amostragem, a mesma é sempre feita na torneira do consumidor. Inicialmente, é deixado que a torneira onde será efetuada a recolha seja deixada

com água a escorrer, de forma a garantir que a água amostrada não tenha permanecido estagnada, sendo depois a recolha prontamente feita. O tipo de amostragem poderá requisitar vários tipos de recipientes (de vidro, vidro escurecido, polietileno ou polietileno de alta densidade (PEAD)) dependendo dos vários parâmetros que serão estudados e o tipo de método usado pelo laboratório. Acrescenta-se que a recolha de água para estudo dos parâmetros microbiológicos é feita em frascos esterilizados depois de ser garantido que não ocorrerá contaminação microbiológica durante a amostragem, através da remoção do filtro da torneira, da desinfeção da torneira por flamejamento (uso de álcool etílico e de um maçarico - desinfeção por calor) e das mãos do técnico (álcool etílico a 70%), deixando a água a fluir por um momento antes de ser efetivamente recolhida a amostra depois da desinfeção efetuada. Dos vários parâmetros, apenas o cloro residual livre é averiguado no local, uma vez que o valor deste parâmetro diminuirá com o tempo devido à perda do cloro presente na amostra, sendo o parâmetro averiguado recorrendo-se a algum tipo de equipamento portátil e adequado para esta operação.

4. Águas residuais em Penafiel

4.1. Introdução: tratamento de águas residuais

O uso de água por parte das populações humanas leva, inevitavelmente, à produção de águas residuais. Estas águas residuais urbanas possuem na sua constituição inúmeros contaminantes que ao serem libertados para o meio ambiente poderão manifestar grandes impactos negativos. Estes resíduos podem conter vários contaminantes diversos, como matéria orgânica, nutrientes, metais e outros contaminantes orgânicos e inorgânicos, os quais poderão manifestar diversos efeitos nefastos no ambiente (Henze & Comeau, 2008).

Por exemplo, os nutrientes, azoto e fósforo, manifestam-se como contaminantes de controlo importante, dado os impactos negativos que os mesmos poderão causar na natureza. Em particular, realça-se que estes elementos poderão levar a um desenvolvimento algal rápido, criando florescências de algas que poderão levar à depleção completa de oxigénio nas massas de águas onde se encontram e dessa forma criar zonas caracterizadas pela morte dos organismos desprovidos de oxigénio presentes nestes ambientes. Estas florescências também poderão produzir toxinas, sendo estas de grande perigo para a saúde humana (Manuel, 2014; United States Environmental Protection Agency, 2022a).

Desta forma, dado o possível impacto negativo proveniente da descarga de águas residuais, revela-se de grande importância o tratamento adequado das mesmas, assim como a devidamente regulada e controlada descarga destes resíduos no ambiente. Para isto, e de forma a ser aprovada a descarga de efluentes no meio ambiente, depois de devidamente tratados, é necessário que seja obtido permissão para a mesma através da atribuição de uma Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais para cada ETAR existente. Estas licenças são aprovadas pela APA, assegurando a efetiva descarga de efluentes tratados de forma bem definida e segura. Em cada uma destas licenças para rejeição de efluentes encontram-se definidos os vários parâmetros possivelmente nefastos a serem analisados, os seus valores limite de emissão (VLE) e a legislação aplicável, entre várias outras informações relevantes. Atualmente, a legislação em vigor que define os vários parâmetros e respetivos valores paramétricos nas várias ETAR da Penafiel Verde, E.M. são os Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, e Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto.

Assim, de forma a serem efetivamente tratadas, as águas residuais de Penafiel são desta forma encaminhadas para uma das ETAR presentes neste concelho, para que possam posteriormente ser descarregadas no meio ambiente de forma segura.

No concelho de Penafiel existem atualmente vários destinos distintos para o tratamento de águas residuais, sendo os mesmos uma das seis ETAR compactas existentes pelo concelho, a ETAR de Termas de S. Vicente ou a ETAR de Paço de Sousa. Das ETAR referidas, apenas a ETAR de Paço de Sousa não está sobre a jurisdição da Penafiel Verde, E.M., apesar de receber parte dos efluentes produzidos no concelho em questão. A drenagem das águas residuais desde as habitações até à ETAR de Paço de Sousa, no entanto, encontra-se sobre responsabilidade da Penafiel Verde, E.M., assim como para todas as outras ETAR do concelho.

Dada a importância do tratamento de efluentes, tal como as possíveis formas distintas de tal processo ser efetuado, são descritas nas próximas secções as ETAR que efetivamente tratam os efluentes brutos no concelho de Penafiel.

4.2. ETAR compactas

Normalmente, o tratamento de águas residuais urbanas é realizado em ETAR municipais de grandes dimensões, para onde são encaminhados todos os afluentes. No entanto, nem sempre este tipo de situações corresponde à melhor solução para uma determinada localidade. Um desses casos corresponde a pequenos aglomerados populacionais, onde o custo da instalação e manutenção da rede de drenagem necessária poderia exceder o custo de um tratamento das águas residuais mais local. Neste tipo de situações, uma solução mais vantajosa seria a instalação de ETAR compactas, algo que foi efetivamente implementado ao longo do concelho de Penafiel, dado que a situação descrita anteriormente corresponde à realidade de parte deste concelho.

Atualmente, seis ETAR compactas da Penafiel Verde, E.M. encontram-se operacionais no concelho de Penafiel. Estas ETAR compactas encontram-se distribuídas perto da fronteira este e sul do concelho, com a presença próxima do rio Tâmega e Douro, respetivamente. As freguesias que incorporam estas seis ETAR são as seguintes: Abragão, Boelhe, Canelas, Castelões, Rio de Moinhos e Rio Mau.

Estas ETAR são bastante similares entre si no seu funcionamento, dado que servem apenas para o tratamento de águas residuais urbanas de pequenos aglomerados populacionais, relativamente isolados uns dos outros. O número de módulos que podem estar presentes em cada ETAR compacta e a forma exterior dos mesmos pode diferenciar entre ETAR. No entanto, apenas algumas diferenças pontuais existem entre estas ETAR relativamente ao próprio processo de tratamento de afluentes, sendo o mesmo essencialmente o mesmo.

Estas ETAR são compostas por módulos fechados e não enterrados, completamente pré-fabricados, tendo os seus elementos e componentes instalados sido testados em fábrica. Tratam-se de construções fabricadas em aço carbono e com pintura TAR-EPOXY, assegurando a ausência de corrosão. Estas ETAR são compactas, descrevendo dessa forma uma obra civil simples e de mínimo espaço ocupado, sendo integradas no meio onde se encontram. O barulho e cheiro das mesmas também é reduzido. O seu funcionamento é automático e de mínima manutenção. Avarias não são frequentes de serem esperadas, e todas as peças que constituem as ETAR compactas são praticamente inertes do ponto de vista químico (como poliéster, fibra de vidro e aço inoxidável).

A tabela 1 enumera as várias ETAR compactas existentes no concelho de Penafiel, descrevendo a população servida pelas mesmas e as freguesias correspondentes.

ETAR	**População servida (equivalentes populacionais)**	**Freguesias englobadas**
Abragão	2500	Abragão, Luzim e Vila Cova
Boelhe	2000	Boelhe
Canelas	500	Canelas
Castelões	2000	Castelões, S. Martinho de Recezinhos, S. Mamede de Recezinhos
Rio de Moinhos	3000	Rio de Moinhos
Rio Mau	2500	Rio Mau, Sebolido

Tabela 1 – Lista das várias ETAR compactas presentes no concelho de Penafiel.

Dado que as várias ETAR compactas presentes no concelho de Penafiel são semelhantes na constituição interna e funcionamento das mesmas, uma descrição geral do funcionamento destas ETAR é feita de seguida, com as diferenças entre as mesmas realçadas, quando necessário.

4.2.1. Pré-tratamento

Antes de iniciado o tratamento propriamente dito do afluente, o mesmo passa por um sistema de gradagem, sendo este normalmente efetuado por um tamisador de parafuso helicoidal responsável pela gradagem de sólidos de maiores dimensões a partir dos afluentes sendo que desta forma estes sólidos serão retirados das águas residuais, sendo aumentada

assim a eficiência e segurança dos tratamentos seguintes. Em caso de avaria ou ausência deste sistema, as ETAR compactas possuem um processo de gradagem de limpeza manual que funciona como um *bypass*, permitindo o normal continuamento do processo de tratamento das águas residuais. Adicionalmente antes de entrarem no próximo tratamento, os afluentes passarão num canal Parshall com um caudalímetro ultrassónico instalado para a totalização do caudal.

De seguida, em todas as ETAR compactas, os afluentes passarão para um poço de bombagem que recebe estes afluentes. Neste poço de bombagem os afluentes serão bombeados através de uma eletrobomba trituradora. O sistema de bombagem-trituração é então responsável pela entrada dos afluentes nas ETAR propriamente ditas, sendo constituído por bombas submersíveis que funcionam de forma alternada. As bombas encontram-se dessa forma instaladas no interior do poço de bombagem, tendo como objetivo a elevação da água residual do poço até à ETAR. O seu sistema de funcionamento é de forma automática e comandada através do PLC (Controlador Lógico Programável) e por sensores de nível instalados no poço. A trituração tem como objetivo triturar os sólidos aspirados para tamanhos inferiores a 5,5 mm, de forma que sólidos de grandes dimensões não consigam prosseguir no processo de tratamento e assim provoquem danos aos equipamentos (Memórias descritivas das ETAR de Abragão, Boelhe, Canelas, Castelões, Rio de Moinhos e Rio Mau).

4.2.2. Tratamento secundário

As ETAR compactas presentes neste concelho dependem sobretudo do tratamento secundário para tratamento dos afluentes, sendo este um processo biológico aeróbio de lamas ativadas com arejamento prolongado. Este processo é capaz de atingir um excelente tratamento dos afluentes recebidos, tal como também de reduzir a quantidade de lamas produzidas. O eficaz tratamento dos afluentes é conseguido devido ao desenvolvimento de microrganismos aeróbicos neste reator, que assimilam e degradam a matéria orgânica presente nas águas residuais, efetivamente reduzindo a maior parte da matéria orgânica presente. Neste tratamento por lamas ativadas, ao ser aumentado o tempo de retenção das águas residuais na câmara de arejamento, e mantendo uma alta concentração de oxigénio dissolvido, são conseguidas as condições necessárias para que ocorra o processo de respiração endógena: ao ser degradada a matéria orgânica disponível para os microrganismos, os mesmos terão de metabolizar parte da sua própria biomassa, reduzindo dessa forma a quantidade de lamas produzidas. Este tratamento é efetuado numa câmara de digestão, e o arejamento nesta fase do processo de tratamento permite não só o próprio tratamento dos afluentes, como também impede a decantação de lamas nesta parte do reator

e previne o desenvolvimento de odores desagradáveis causados por processos anaeróbios. O arejamento é conseguido através de um compressor de baixo consumo alojado numa cabine de controlo, sendo capaz de fornecer oxigénio através de difusores de bolha fina constituídos por aço inox (Memórias descritivas das ETAR de Abragão, Boelhe, Canelas, Castelões, Rio de Moinhos e Rio Mau).

As ETAR de Abragão e Rio Mau possuem um tratamento mais complexo nesta etapa. O seu reator biológico é constituído por duas zonas: uma aeróbia e uma anóxica. Os afluentes são bombeados primeiramente do poço de bombagem para a zona anóxica, onde ocorre a desnitrificação desta água residual. Este sistema anóxico-aeróbio aumenta as chances de redução dos compostos de azoto. Também a recirculação de lamas do decantador se dá primeiramente para esta zona. À zona anóxica segue-se a zona aeróbia onde é continuado o tratamento das águas residuais, tal como descrito anteriormente (Memórias descritivas das ETAR de Abragão e Rio Mau).

Ainda na ETAR de Rio Mau, o reator biológico possui também no seu interior um meio com uma elevada área superficial onde microrganismos se podem fixar, facilitando o crescimento bacteriano através da possível realização de um biofilme. Assim, é conseguido um aumento do rendimento do reator sem que seja aumentado o seu tamanho. Este suporte para crescimento do biofilme é constituído por colunas de filamentos quimicamente resistentes, constituídas por um polímero patenteado, que somam uma superfície específica até 750 m^2/m^3, estando especialmente tratados para suportar as condições do licor misto. Esta elevada exposição de microrganismos ao afluente levará assim a um maior rendimento da ETAR. Este processo complementar não necessita de manutenção ou limpeza (Memória descritiva da ETAR de Rio Mau).

4.2.3. Decantação secundária

A decantação secundária das lamas acontece na segunda câmara de um módulo de uma ETAR compacta, depois do tratamento biológico efetuado. De forma a ocorrer o processo de decantação, este decantador possui uma forma troncocónica, com secção em “V”, favorecendo dessa forma a decantação das lamas. Para facilitar a decantação das mesmas, nenhuma agitação é efetuada.

Neste decantador a velocidade ascensional do efluente é reduzida, sendo conseguido dessa forma a sedimentação dos flocos de maior peso no fundo da câmara. A água clarificada sai deste compartimento por transbordo, enquanto as lamas sedimentam devido ao seu peso, concluindo esta etapa.

Após a decantação das lamas neste segundo compartimento, uma parte das mesmas é recirculada de volta para a câmara de tratamento biológico através de uma série de tubagens. Este trata-se de um passo fundamental do processo de tratamento de águas residuais, dado que é necessário assegurar a presença de uma quantidade suficiente de microrganismos biologicamente ativos que efetivamente purificam os afluentes recebidos. Este processo é periódico e automático, comandado através do PLC da ETAR, que de forma programada leva à ativação da electroválvula deste circuito de recirculação de forma a derivar parte do ar do compressor, facilitando a aspiração (Memórias descritivas das ETAR de Abragão, Boelhe, Canelas, Castelões, Rio de Moinhos e Rio Mau).

Na ETAR compacta de Canelas, a câmara de decantação possui também um aspirador de escumas, sendo as mesmas recirculadas para o tanque de arejamento para posterior tratamento. Com este passo é conseguida uma redução de trabalhos de manutenção e um melhoramento da qualidade final do efluente (Memória descritiva da ETAR de Canelas).

As lamas em excesso são periodicamente recolhidas por um camião-cisterna que procede à sua aspiração no decantador secundário. Atualmente, o tratamento de lamas não é efetuado em nenhuma das ETAR compactas existentes, sendo estas lamas transportadas para a ETAR de Termas de S. Vicente que possui os instrumentos necessários para o processo de compactação e desidratação de lamas, de forma a serem tratadas e descartadas de forma apropriada. Devido à dificuldade e complexidade associadas a este processo de transporte de lamas efetuado no momento, a adquirição de uma unidade móvel de desidratação de lamas está neste momento a ser ponderada.

4.2.4. Descarga do efluente tratado

Seguidamente à decantação secundária, o efluente passa para a câmara de descarga/desinfeção. Nesta câmara o efluente pode ser desinfetado com recurso a um processo de ozonização. Este processo realizar-se-ia de forma automática, sendo o ozono gerado a partir do ar circundante através de uma descarga elétrica de alta voltagem e depois injetado na água residual a tratar. Este processo de ozonização permitiria tanto desinfetar como desodorizar a água residual. Imediatamente depois da decantação, ou depois da desinfeção se presente, o efluente é descarregado no local legalmente aprovado para cada uma das ETAR, identificado nas respetivas Licenças de Utilização de Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais (Memórias descritivas das ETAR de Abragão, Boelhe, Canelas, Castelões, Rio de Moinhos e Rio Mau).

4.3. ETAR de Termas de S. Vicente

Para além das seis ETAR compactas distribuídas pelo concelho de Penafiel, outra ETAR está também sobre a autoridade da Penafiel Verde, E.M., nomeadamente a ETAR de Termas de S. Vicente. Esta trata-se de uma ETAR de média dimensão. Atualmente, está definida para atender a 7500 equivalentes populacionais, correspondentes a algumas freguesias deste concelho, nomeadamente Perozelo, Cabeça Santa, Termas de S. Vicente e Eja. Para além do tratamento de águas residuais provenientes destas freguesias, esta ETAR também está apta para incorporar lamas de fossas sépticas no seu tratamento, encarregando-se a Penafiel Verde, E.M. de lhes dar um tratamento adequado aquando da requisição do serviço de descarregamento de fossas sépticas por algum habitante. A figura 3 ilustra a ETAR em questão, assim como os principais órgãos e edifícios da mesma que irão efetuar o processo de tratamento de águas residuais.

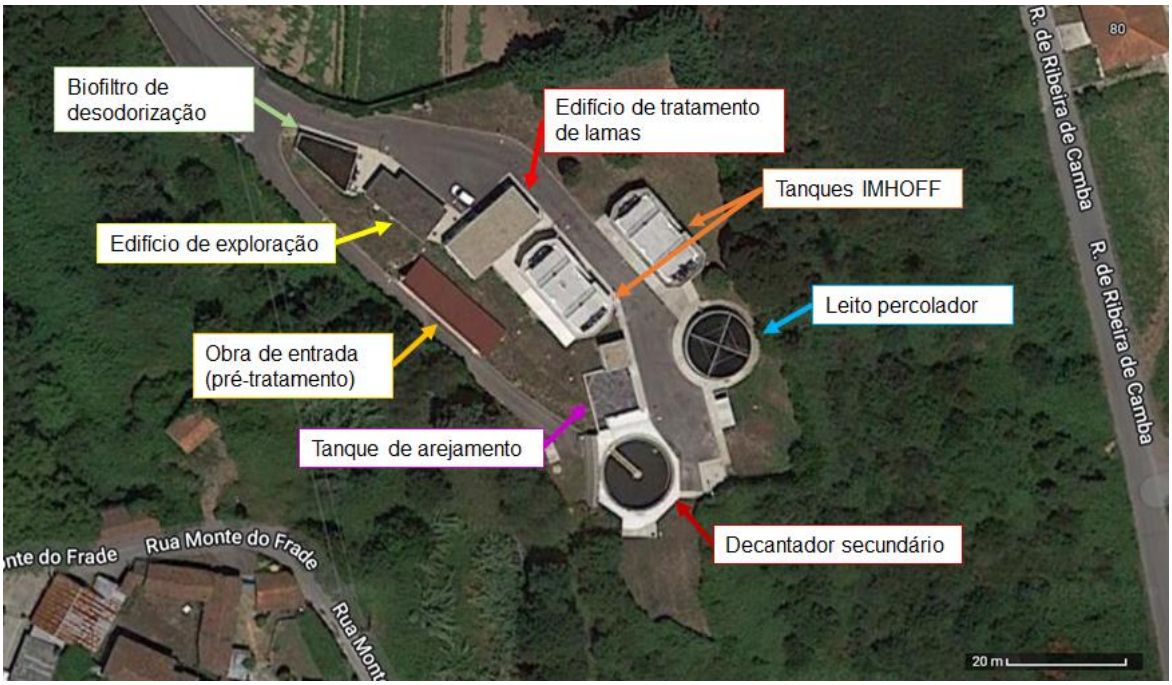


Figura 3 – Imagem da ETAR de Termas de S. Vicente e legenda dos principais órgãos e edifícios presentes. Imagem original retirada de Google Maps (30/08/2022).

4.3.1. Entrada do afluente e pré-tratamento

Nesta ETAR, o afluente dá entrada por duas condutas distintas: uma a norte e outra a sul. No entanto, o afluente cuja entrada se dá a sul passa inicialmente por uma gradagem, que se efetua numa estação elevatória (estação elevatória do emissário sul). Neste local, o afluente entra primeiramente numa câmara de gradagem e retenção de areia. Esta câmara possui um cesto de recolha de detritos constituído por barras espaçadas de 40 mm entre si, e o seu uso permite prevenir e proteger os grupos de bombagem de eventuais entupimentos. O afluente é depois bombeado para uma segunda câmara, a câmara de aspiração, que possui

dois grupos eletrobombas submersíveis (um dos mesmos é de reserva). Depois de serem bombeados, os afluentes recebidos a sul são incorporados com os restantes afluentes, passando todos, dessa forma, por um pré-tratamento.

Este pré-tratamento é composto por vários passos, finalizando com o bombeamento do afluente para o tratamento primário, e sendo todos estes passos efetuados dentro do mesmo edifício, designado de obra de entrada. Inicialmente, o pré-tratamento do afluente começa com uma gradagem grossa de limpeza mecânica, em que o espaçamento entre barras desta grade corresponde a 25 mm. Os detritos retidos serão transportados e escorridos para um contentor de PEAD com capacidade unitária de 1100 litros. De forma alternativa à gradagem de limpeza mecânica, encontra-se instalado em paralelo um sistema *bypass* constituído por uma grade de recurso de limpeza manual, também com um espaçamento entre barras de 25 mm. Seguidamente à gradagem, o afluente passa por um medidor de caudal do tipo Soleira Parshall que possui uma sonda de nível ultrassónico, sendo a dimensão da gola de 3'' (polegadas). Estas operações acontecem numa secção da obra de entrada.

Após a medição de caudal, numa segunda secção da obra de entrada o efluente gradado dá entrada numa unidade compacta de tamisação, desarenamento e desengorduramento. Esta unidade combina os três processos referidos numa única unidade compacta. A tamisação é o primeiro dos processos efetuados. Relativamente ao tamisador, o diâmetro do tambor corresponde a 450 mm e a abertura de malha a 5 mm. Os detritos são transportados e escorridos para um contentor através de um parafuso integrado no tamisador. O desarenamento e desengorduramento é realizado de seguida, numa pista arejada onde é promovido o movimento helicoidal do afluente. Neste processo, as areias sedimentam e ficam retidas na tremonha, enquanto os óleos e gorduras flutuam junto à lâmina líquida do órgão, sendo dessa forma separados estes componentes do restante afluente. As areias são recolhidas, lavadas e transportadas nesta unidade por um conjunto de parafusos com destino a um contentor. Os óleos e gorduras acumulados na lâmina líquida da unidade são raspados e bombeados através de uma bomba volumétrica de parafuso excêntrico para outro contentor. A pista arejada de desarenamento e desengorduramento possui um comprimento de 6000 mm e um tempo de retenção de 180 segundos. O fornecimento de ar neste sistema é feito por um compressor centrífugo acoplado a esta unidade compacta, sendo operado a partir do quadro elétrico desta unidade. Os três contentores mencionados (para gradados, areias e gorduras), mais um existente de reserva, são constituídos por PEAD e têm cada uma capacidade unitária de 1100 litros.

No fim do pré-tratamento encontra-se uma estação elevatória, responsável pelo bombeamento do afluente para o tratamento primário. Nesta estação elevatória encontram-

se dois grupos de bombas submersíveis, sendo um de reserva. Acrescenta-se também que, de modo a promover a suspensão da matéria sólida presente nos afluentes, está incorporado um agitador com funcionamento automático. Seguidamente a esta estação elevatória de onde é bombeada, a água residual prossegue então para o tratamento primário (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).

4.3.2. Tratamento primário

Após a elevação dos afluentes (como descrito anteriormente), os mesmos são divididos igualmente entre dois tanques IMHOFF. Os tanques IMHOFF possuem uma forma retangular e são semienterrados, tendo incluídas duas operações de tratamento: decantação de sólidos e digestão anaeróbia. A decantação de sólidos em suspensão dos afluentes acontece nos compartimentos superiores dos tanques IMHOFF e é a parte relativa ao tratamento primário propriamente dito, acontecendo a sedimentação de sólidos para a parte inferior do respetivo tanque IMHOFF e formando um efluente clarificado. A digestão anaeróbia acontece no compartimento inferior destas unidades, sendo este processo aplicado tanto às lamas obtidas neste tratamento primário, como às lamas obtidas depois da decantação secundária (descrita num tópico seguinte) que são bombeadas para os tanques IMHOFF.

Relativamente ao tratamento primário propriamente dito, o processo de decantação nos tanques IMHOFF possui quatro decantadores (dois decantadores paralelos por tanque IMHOFF). Cada decantador possui um comprimento de 12,80 metros e uma largura de 1,70 metros. O tempo de retenção hidráulico no tanque IMHOFF para o processo de decantação é de 2,83 e 1,47 horas para um caudal médio e máximo, respetivamente (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).

4.3.3. Tratamento secundário

Depois do tratamento primário descrito anteriormente, o processo biológico de tratamento de águas resíduas na ETAR de Termas de S. Vicente inicia-se com um leito percolador, começando dessa forma o tratamento secundário.

O leito percolador trata-se de uma estrutura cilíndrica de grandes dimensões, que possui no seu interior um meio de enchimento que serve de suporte para o desenvolvimento de microrganismos que tratarão os afluentes. O tratamento dos afluentes dá-se, depois de os mesmos serem clarificados, pela percolação desta água residual desde a parte superior até à parte inferior do leito percolador. A passagem pelo meio de enchimento onde se desenvolve um biofilme de bactérias aeróbias permite às mesmas tratar os afluentes.

Este meio de enchimento pode referir-se a uma grande variedade de materiais, sendo na ETAR de Termas de S. Vicente usado um meio poroso em plástico (polipropileno isostático), de forma circular e com uma superfície específica de 127 m^2/m^3, permitindo o desenvolvimento de uma grande quantidade de biomassa microbiana. Uma vez que o leito percolador trata-se do órgão onde é efetuado um tratamento biológico aeróbio, este órgão da ETAR foi concebido de forma que ocorra uma ventilação natural de ar atmosférico para dentro e fora do leito percolador, chegando dessa forma o oxigénio necessário aos microrganismos desenvolvidos no biofilme do meio de enchimento, sendo que a corrente de ar ocorre naturalmente devido às diferenças de temperatura entre o ar ambiente e o interior do leito percolador. O meio de enchimento usado assenta num fundo falso do leito percolador, onde as águas residuais percoladas são recolhidas por um sistema de caleiras e encaminhadas para uma câmara de reunião, de onde são enviadas para a estação elevatória de recirculação. Acrescenta-se também que, de forma a aumentar a eficiência do tratamento das águas residuais neste leito percolador, encontra-se associado ao mesmo um sistema de recirculação das mesmas.

O leito percolador possui um diâmetro de 11 metros, um diâmetro interior de 1,80 metros (onde se encontra apenas o corpo central do distribuidor rotativo) e uma altura de enchimento de 2 metros. O sistema distribuidor é constituído por um corpo central ao qual estão ligados os braços distribuidores de afluente, sendo essa distribuição feita de forma uniforme através de orifícios presentes nos braços distribuidores. Os orifícios têm um diâmetro igual ou superior a 10 mm. Acrescenta-se também que o movimento dos braços para distribuição do afluente é conseguido de forma natural através da energia já fornecida à água residual. O leito percolador presente na ETAR encontra-se representado na figura 4.

A recirculação destas águas residuais é efetuada numa estação elevatória de recirculação, que possui inicialmente uma câmara de distribuição de caudais e de seguida uma câmara de bombagem. Na câmara de distribuição de caudais é permitido o direcionamento dos caudais percolados para a câmara de bombagem (para recirculação dos mesmos), para o tanque de arejamento (o passo seguinte no percurso de tratamento de águas

residuais) ou diretamente para o decantador secundário (se necessário existir um *bypass* do tanque de arejamento). A câmara de bombagem da estação de recirculação possui dois grupos eletrobomba submersíveis para a recirculação das águas residuais, sendo um dos grupos como reserva.



Figura 4 – Leito percolador presente na ETAR de Termas de S. Vicente.

A próxima etapa, seguidamente ao leito percolador, corresponde a um segundo tratamento biológico num tanque de arejamento. No tanque de arejamento é promovida a assimilação de matéria orgânica através de microrganismos aeróbicos desenvolvidos neste tanque, constituindo os mesmos as lamas ativadas. O tanque de arejamento foi também projetado de forma a conseguir tratar os afluentes sem o tratamento anterior pelo leito percolador, caso o mesmo ficasse fora de serviço, através de um arejamento mais intenso. Para isso, uma caixa de derivação existe entre o circuito dos tanques IMHOFF e o leito percolador que permite um *bypass* deste último órgão, sendo o afluente a tratar enviado diretamente para o tanque de arejamento. O tanque de arejamento possui uma largura e comprimento de 7,5 metros e uma altura da lâmina líquida de 4,5 metros. Assumindo as condições de funcionamento normal, o tempo de retenção hidráulico (ao caudal médio) será de aproximadamente 4,22 horas.

O arejamento necessário para o desenvolvimento dos microrganismos é conseguido através de um sistema de difusores de bolha fina na base do tanque de arejamento, sendo o ar provido através de dois compressores, sendo um de reserva. Estes compressores encontram-se no edifício dos compressores junto ao tanque de arejamento, e são controlados a partir do autómato da ETAR. No tanque de arejamento existe um medidor de oxigénio instalado de forma a fornecer informações durante o processo. O tanque de arejamento encontra-se ilustrado na figura 5 (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).



Figura 5 – Tanque de arejamento presente na ETAR de Termas de S. Vicente.

4.3.4. Decantação secundária e descarga do efluente tratado

Seguidamente ao tanque de arejamento, ocorre a decantação secundária das águas residuais já tratadas biologicamente com recurso a um decantador que permite a separação entre os efluentes tratados e as lamas produzidas. O decantador secundário presente é de forma circular, com um diâmetro de 12 metros e uma altura periférica de 3,60 metros. As lamas ficam depositadas, enquanto as escumas flutuam à superfície. De forma a ambos os resíduos serem eficazmente recolhidos, o decantador de planta circular possui uma ponte raspadora de fundo e superfície com funcionamento contínuo. As escumas são recolhidas num coletor e enviadas para o circuito de escorrências da ETAR, de forma a serem tratadas.

Relativamente às lamas decantadas e recolhidas no decantador secundário, as mesmas são encaminhadas para uma estação elevatória de lamas secundárias onde poderão ter dois destinos: recirculação para o tanque de arejamento ou tratamento anaeróbio nos tanques IMHOFF. Para este efeito, existe nesta estação elevatória dois conjuntos de grupos eletrobomba submersíveis, cada um dos mesmos responsável para um dos dois fins possíveis das lamas decantadas. As lamas que são recirculadas para o tanque de arejamento são reintroduzidas neste tanque de forma a manter o funcionamento normal e contínuo do tratamento biológico neste órgão, sendo mantida uma presença estável e contante dos microrganismos responsáveis por este tratamento das águas residuais. Seguidamente à decantação secundária, o efluente encontra-se tratado e pronto a ser descartado de forma segura no ambiente. Para isso, o efluente tratado antes de ser descarregado passa por um medidor de caudal do tipo Soleira Parshall munido de sonda de nível ultrassónico e com uma dimensão de gola de 3'', sendo as águas residuais prontamente rejeitadas no meio hídrico aprovado para este processo (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).

4.3.5. Tratamento de lamas

Como descrito anteriormente, parte das lamas obtidas na decantação secundária são enviadas para os tanques IMHOFF onde, juntamente com as lamas obtidas no processo de tratamento primário, passam por uma digestão anaeróbia que acontece no compartimento inferior destas unidades. Este processo permite uma redução da quantidade de lamas existentes, sendo dessa forma reduzidos os custos e trabalhos associados aos tratamentos posteriores das lamas e descarte apropriado das mesmas. Este processo ocorre em dois digestores, um em cada tanque IMHOFF, com um volume útil total de 660,82 m^3. Cada digestor encontra-se dividido em duas células que possuem uma estrutura superior paralelepipedal e uma estrutura inferior piramidal. A largura e comprimento de cada célula é de 6,40 metros. A altura da parte paralelepipedal é de 3,40 metros e a altura da parte piramidal é de 1,90 metros. O tempo de retenção de sólidos é de aproximadamente 90 dias (87,6 dias). Depois deste processo de digestão anaeróbia, as lamas são encaminhadas para o processo de desidratação das mesmas através de uma bomba volumétrica de parafuso excêntrico presente em cada tanque, sendo as lamas bombeadas desde o fundo das duas unidades de cada tanque IMHOFF para a etapa de compactação e desidratação das lamas. Este processo de bombagem de lamas para fora dos tanques IMHOFF ocorre num tanque IMHOFF de cada vez, sendo controlado pelo operador da ETAR. Realça-se também que do processo de digestão anaeróbia são produzidos gases, sendo os mesmos direcionados para um circuito de ar viciado que os irá tratar.

O tratamento final das lamas na ETAR de Termas de S. Vicente é efetuado com recurso a um sistema mecânico de desidratação de lamas baseado num filtro banda. As lamas provenientes do tanque IMHOFF são dessa forma bombeadas para o filtro banda, que efetuará a devida desidratação das lamas, de forma que as mesmas possam ser descartadas de forma mais eficiente. É esperado que a concentração de sólidos nas lamas desidratas seja de 20% (assumindo uma concentração de lamas à entrada de 6%, esperado depois da digestão anaeróbia nos tanques IMHOFF), com um caudal de lamas à entrada de 1,60 m^3/h. As escorrências resultantes desta operação farão parte do circuito de escorrências, de forma a serem tratadas.

De forma a auxiliar o processo de desidratação de lamas é adicionado às mesmas uma solução de polieletrólito, de forma a ser incentivada a floculação destas, ajudando assim o processo de compactação e desidratação. O polieletrólito é preparado numa unidade automática de alimentação de polieletrólito em pó, sendo o mesmo bombeado por uma bomba volumétrica e subsequentemente diluído num painel de diluição, sendo depois adicionado às lamas a desidratar num misturador lama/polieletrólito.

A lavagem das telas do filtro banda é conseguida através de um grupo hidropressor, podendo a água usada para limpar estas telas ser o efluente tratado, antes de o mesmo ser descartado. Apesar de a maior parte das águas residuais tratadas serem descarregadas no ambiente assim que são tratadas para atender aos parâmetros estabelecidos, parte da água residual tratada pode ser desviada e usada na própria ETAR depois de passar por algum tratamento adicional. Relativamente ao tratamento desta água para reutilização, o mesmo refere-se a um microtamisador, possuindo o mesmo uma abertura de filtração de 130 µm e um sistema de lavagem automático com água do próprio efluente.

As lamas, depois de desidratadas, são transferidas com recurso a um parafuso transportador para um contentor do tipo Polibenne com 15 m^3. As lamas por fim desidratas ficam então armazenadas até serem transportadas e descartadas de forma apropriada por uma empresa devidamente licenciada para o efeito (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).

4.3.6. Circuitos de lamas das fossas sépticas, ar viciado e escorrências

De forma a prover um serviço necessário à população penafidelense, a Penafiel Verde, E.M. realiza também o serviço de descarga de fossas. Este trabalho é efetuado com recurso a um camião limpa-fossas com uma capacidade de 10 m^3 que transportará estas lamas de fossas sépticas para um circuito especial incorporado na ETAR de Termas de S. Vicente. As lamas recebidas passam inicialmente por um medidor de caudais eletromagnético, sendo depois enviadas para um tamisador mecânico com uma abertura de malha de 5 mm, que se encontra em funcionamento sempre que ocorrer entrada de lamas de fossas sépticas. O tamisador tem incorporado no próprio equipamento um parafuso que retira os detritos detidos, sendo os mesmos transportados para um contentor em PEAD de 1100 litros. De seguida a este tratamento, as lamas serão recebidas num tanque de lamas, com um volume de 50 m^3, ocorrendo a agitação e arejamento das lamas dentro do tanque com recurso a um grupo hidro-ejetor. A bombagem de lamas para esvaziamento do tanque é realizada por dois grupos de eletrobombas centrífugas submersíveis, em que um é de reserva, sendo as mesmas bombeadas para o circuito de tratamento de águas resíduas, dando entrada, nomeadamente, na unidade de pré-tratamento descrita anteriormente, entrando assim no sistema da ETAR. O funcionamento das eletrobombas ocorre durante o período noturno de forma a não coincidir com os períodos de afluência máxima de águas residuais nesta ETAR.

De forma a serem asseguradas boas condições de trabalho dentro dos edifícios da ETAR de Termas de S. Vicente, tal como evitada a difusão para o ambiente de compostos gasosos produzidos em vários órgãos da ETAR, especialmente dos tanques IMHOFF onde ocorre uma digestão anaeróbia das lamas produzidas, efetua-se na ETAR de Termas de S.

Vicente uma desodorização do ar proveniente dos vários órgãos e processos através de um sistema de ventilação. Estes circuitos de ar viciado têm tubagens constituídas por polipropileno com uma inclinação mínima de 0,5%, de forma que os condensados sejam drenados para uma estação elevatória intermédia. A extração de ar é feita com recurso a um ventilador, estando o mesmo munido com uma canópia de insonorização para reduzir as emissões de ruído. O ar viciado a desodorizar é, depois de ventilado, humidificado em contracorrente numa torre de humidificação, de forma a ficar saturado de água, algo essencial para o processo. Também ficam retidos na torre de humidificação a maior parte das partículas de pó e matéria condensada que o ar poderá ter arrastado. Depois de humidificado, o ar é direcionado a um filtro biológico, com uma área de enchimento de 46 m^2 e uma altura de enchimento de 1 metro (perfazendo um volume de enchimento de 46 m^3). Este passo é caracterizado pela existência de material filtrante onde é permitido o desenvolvimento de organismos que tratam o ar a ser purificado. O ar é distribuído através da área do biofiltro por um fundo falso de suporte do material filtrante, sendo conduzido em fluxo ascendente através da camada filtrante biologicamente ativa e depois libertado para a atmosfera, purificado. Complementa-se também que existem vários sistemas de aspersão de água instalados sobre o biofiltro, funcionando periodicamente de forma a manter o teor de humidade necessário para uma boa eficiência de remoção de gases, por parte dos microrganismos que se desenvolveram.

No processo de tratamento de águas residuais, várias escorrências são produzidas nesta ETAR. Para o seu tratamento, um circuito de escorrências encontra-se operacional de forma a lidar com as mesmas. Desta forma, as escorrências provenientes do circuito de lamas de fossas sépticas, dos gradados da unidade de pré-tratamento, da unidade de polieletrólito, do filtro de banda, do microtamisador e do circuito de desodorização, tal como as escumas provenientes do decantador secundário e as águas provenientes dos aparelhos sanitários do edifício de exploração existente na ETAR de Termas de S. Vicente, serão encaminhados para a unidade compacta de tamisação, desarenamento e desengorduramento (pré-tratamento da ETAR), de forma a serem tratados. Estes resíduos são medidos antes de entrarem na unidade referida através de um canal de Soleira Parshall munido de sonda de nível ultrassónico, com uma dimensão de gola de 2'' (Memória descritiva da ETAR de Termas de S. Vicente).

4.4. ETAR de Paço de Sousa

A ETAR de Paço de Sousa recebe uma parte significativa das águas residuais produzidas no concelho de Penafiel, nomeadamente das restantes freguesias do concelho de Penafiel que não foram mencionadas, assim como de parte das freguesias de S. Martinho de Recezinhos e de S. Mamede de Recezinhos. No entanto, esta ETAR não se encontra sobre

responsabilidade da Penafiel Verde, E.M., estando apenas a parte da drenagem das águas residuais para esta ETAR sobre a responsabilidade desta empresa. No entanto, uma vez que esta ETAR se encontra como de grande importância para o tratamento das águas resíduas em Penafiel, é desta forma fornecida uma breve descrição da mesma, conforme os dados públicos encontrados sobre a mesma no site da empresa responsável pela ETAR, a SIMDOURO, S.A.

Esta ETAR, localizada na freguesia de Paço de Sousa, concelho de Penafiel, está projetada para tratar 10 700 m^3 de águas resíduas domésticas por dia, relativas a uma população de 65 000 habitantes equivalentes de três municípios: Penafiel, Paredes e Lousada (Simdouro, 2017).

4.4.1. Tratamento de águas residuais

O tratamento das águas residuais inicia-se com a sua elevação, seguida pelo pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário e, finalmente, de um tratamento terciário. O pré-tratamento engloba uma gradagem grossa automática e uma tamisagem fina, sendo dessa forma removidos os gradados de maiores dimensões. Seguidamente, ocorrem os tratamentos de desengorduramento/desarenamento e decantação primária, operações integradas num só órgão. Depois da remoção de areias, gorduras e parte dos sólidos presentes, o afluente encontra-se pronto para o tratamento secundário. O tratamento secundário na ETAR de Paço de Sousa é efetuado com recurso a quatro reatores do tipo SBR (*Sequencing Batch Reactor*), onde ocorre um tratamento biológico aeróbio por lamas ativadas através de um regime de arejamento convencional efetuado por difusores de bolha fina (Simdouro, 2017).

É também nestes reatores que ocorre a decantação secundária das lamas produzidas, dado que estes reatores possuem também essa habilidade (United States Environmental Protection Agency, 1999; Simdouro, 2017). O último tratamento das águas residuais nesta ETAR, o tratamento terciário, corresponde a uma desinfeção do efluente tratado através de radiação ultravioleta, encontrando-se o efluente pronto para descarga. Acrescenta-se também que esta ETAR possui um sistema de reutilização do efluente tratado, sendo que para isso esta água residual tratada passará por um tratamento adicional de microfiltração e desinfeção por radiação ultravioleta (Simdouro, 2017).

4.4.2. Tratamento de lamas e produção de biogás

Relativamente às lamas produzidas como consequência do tratamento de águas residuais, as lamas primárias passam por uma linha de tamisagem e espessamento gravítico. As lamas biológicas produzidas passarão por um espessamento mecânico, sendo estas

depois dirigidas a um tanque de lamas espessadas. Depois deste passo, estas lamas serão encaminhadas para uma linha de digestão mesófila anaeróbia de lamas. Para além da mais-valia de redução de lamas presentes, conseguido por esta digestão, é também produzido biogás que pode ser usado para a geração de energia elétrica, que é feita nesta ETAR e que, dessa forma, ajuda a reduzir os custos energéticos da mesma. Finalmente, as lamas são desidratadas com recurso a centrífugas, sendo depois higienizadas e armazenadas (Simdouro, 2017).

4.5. Análises das águas residuais

Como referido anteriormente, as Licenças de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais de cada uma das ETAR descrevem os vários parâmetros a serem averiguados, e para cada um dos mesmos o devido local de amostragem, o método analítico a ser usado, a frequência de amostragem e o tipo de amostragem. A tabela 2 enumera para as várias ETAR da responsabilidade da Penafiel Verde, E.M. os VLE dos vários parâmetros requeridos de serem pesquisados, como descrito nas respetivas Licenças de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais. A amostragem de todos estes parâmetros é efetuada à saída da ETAR (efluente tratado final), através da realização de uma amostra composta (amostra representativa da água residual descartada, sendo recolhida durante um período de 24 horas com intervalos máximos de 1 hora) e com uma frequência de amostragem mensal. Assinala-se, complementarmente, que os parâmetros Azoto e Fósforo não possuem um VLE para várias das ETAR, sendo, no entanto, requerida a sua pesquisa de forma mensal ou trimestral, como indicado na tabela 2.

ETAR	**CBO_5 (mg/l O_2)**	**CQO (mg/l O_2)**	**Sólidos suspensos totais (mg/l)**	**Azoto total (mg/l)**	**Fósforo total (mg/l)**	**pH**
Abragão	25	125	35	15	10	−
Boelhe	25	125	35	15	10	−
Canelas	40	150	60	− (trimestral)	− (trimestral)	6 − 9
Castelões	40	150	60	− (trimestral)	− (trimestral)	6 − 9

Rio de Moinhos	25	125	35	− (mensal)	− (mensal)	−
Rio Mau	25	125	35	15	10	−
Termas S. Vicente	25	125	35	− (trimestral)	− (trimestral)	−

Tabela 2 – Valores limite de emissão (VLE) para os vários parâmetros requeridos de serem pesquisados nas várias ETAR da Penafiel Verde, E.M.

De forma semelhante às análises das águas para consumo, as análises das águas residuais são atualmente efetuadas por um laboratório externo credenciado para a recolha e análise dos vários parâmetros necessários de serem averiguados. A recolha das amostras nas várias ETAR é efetuada com recurso a um equipamento especializado na recolha de amostras compostas, sendo apenas necessária a sua ativação no inicio do período de recolha da amostra. Depois de obtida a amostra composta, a mesma é transferida para recipientes de PEAD (como ilustrado na figura 6) e prontamente transportada pela empresa contratada, de forma a ser efetuada a devida análise das amostras recolhidas.



Figura 6 – Recipientes de PEAD usados para recolha de água residual.

5. Influência do transporte da água na sua qualidade: ferro, manganês e oxidabilidade

5.1. Introdução: Presença de ferro, manganês e matéria orgânica na água para consumo

O acesso a água própria para consumo é fundamental para a saúde humana, dado que a mesma poderá ser um vetor de inúmeras doenças. Dessa forma, a água a ser usada para atividades humanas deverá ser de boa qualidade, ao ser recolhida numa fonte de água apropriada e sendo depois esta água efetivamente tratada para atender aos vários parâmetros que estabelecem a segurança do seu uso e consumo por populações humanas.

Apesar da origem e tratamento serem aspetos fundamentais para garantir a boa qualidade da água, a sua distribuição (ou seja, o transporte e aspetos associados ao mesmo, desde o tratamento até ao uso por parte do consumidor) poderão afetar as suas propriedades. Sabe-se que o transporte da água para consumo pela rede de adução e distribuição poderá afetar a sua qualidade na chegada aos consumidores, devido à possibilidade de libertação de depósitos presentes nas paredes internas das tubagens que distribuem a água para consumo (Han et al., 2018). Entre os vários contaminantes presentes nestes depósitos podem estar presentes metais como ferro e manganês, assim como matéria orgânica (Gauthier et al., 1999; Han et al., 2018). Apesar da deposição destes contaminantes se efetuar de forma natural, também a formação de biofilmes nas tubagens facilita a deposição, acumulação e possível subsequente libertação de ferro e manganês nas tubagens aquando da libertação dessa biomassa (Ginige et al., 2011). A corrosão de tubagens constituídas por ferro é também um possível fator para o aumento deste metal na água circulante (McNeill & Edwards, 2001).

Apesar destes elementos não serem em si especialmente preocupantes relativamente à sua toxicidade, a presença de ferro e manganês na água distribuída para consumo poderá estar na origem da maior parte das reclamações por parte dos consumidores. Uma concentração significativa de manganês manifesta-se na água provocando-lhe uma coloração acastanhada/negra, enquanto o ferro produzirá uma água com um tom mais avermelhado/acastanhado. Ambos os metais tornam o sabor e cheiro da água desagradáveis, podendo este tipo de águas também tingir e danificar roupas e aparelhos (IRAR, 2005; Sain & Dietrich, 2015). Apesar da matéria orgânica também não ser especialmente nociva por si só, a mesma poderá interagir com o cloro usado na desinfeção da água, criando subprodutos de desinfeção (como os trihalometanos e os ácidos haloacéticos), sendo estes compostos perigosos para a saúde humana (Chaves et al., 2019).

Relativamente a este tópico, e de acordo com o Guia Técnico 10 – "Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água" do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR, atualmente designado de ERSAR), entre os parâmetros que registam maiores incumprimentos encontram-se o ferro e o manganês.

Desta forma, teme-se que certos parâmetros da qualidade da água possam ser mais afetados pelo transporte e apresentem um maior perigo de ultrapassarem os valores estabelecidos por lei, nomeadamente a concentração de ferro e manganês e possivelmente o valor de oxidabilidade. O parâmetro oxidabilidade é usado para estimar o teor de matéria orgânica presente na água, ao ser determinado indiretamente a presença de matéria orgânica oxidável (assim como possivelmente matéria inorgânica oxidável que poderá interferir no teste), sendo o resultado obtido em oxigénio consumido (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas, 2012).

Dados estes factos, foi proposto um estudo inicial da rede de adução e distribuição de água para consumo da Penafiel Verde, E.M. relativamente à dinâmica destes três parâmetros de interesse, concentração de ferro e manganês e valor de oxidabilidade, de forma a ser atingido um melhor conhecimento da influência da rede de adução e distribuição de água para consumo da Penafiel Verde, E.M. na qualidade da água distribuída relativamente a estes parâmetros, sendo também reassegurada a boa qualidade da água da Penafiel Verde, E.M. para consumo e elaboradas recomendações para prevenir problemas futuros, de forma a ser conseguido e mantido o fornecimento de água de boa qualidade.

5.2. Materiais e métodos

De forma a estudar a variação destes três parâmetros propostos ao longo da rede de adução e distribuição, amostras de água foram recolhidas por todo o concelho em locais com interesse específico para estudo. As amostras que não foram efetuadas em reservatórios (ou seja, que foram amostradas em residências) eram sempre recolhidas imediatamente antes do contador de água da residência correspondente, de forma a retirar a influência da rede predial no presente estudo. A amostra foi recolhida depois de descartados os primeiros minutos de água inicial (cerca de 2 minutos), de forma a ser descartada a possível água parada.

Imediatamente depois de recolhidas, as amostras foram conservadas em gelo numa arca térmica, de forma a conservar as mesmas até à sua entrega ao laboratório responsável pela análise das amostras. Foi pedido a um laboratório externo creditado que executasse as várias análises necessárias devido a causas económicas e práticas. A tabela 3 apresenta os vários métodos utilizados pelo laboratório e as propriedades dos mesmos.

Propriedades da análise	Ferro (µg/l Fe)	Manganês (µg/l Mn)	Oxidabilidade (mg/l O_2)
Método de análise utilizado	SMEWW 3500 Fe B (23.ª Ed.)	W-METMSFX5	ISO 8467:1993
Limite de quantificação	60	0,5	1
Valor paramétrico	200	50	5

Tabela 3 – Métodos de análise usados pelo laboratório, limites de quantificação respetivos e valores paramétricos dos três parâmetros em estudo.

As amostras foram recolhidas em garrafas de plástico fornecidas pelo laboratório (uma garrafa para casa parâmetro). A recolha para os parâmetros ferro e oxidabilidade era feita depois de o recipiente ser enxaguado, sendo depois cheio. A colheita de água para pesquisa de manganês era feita sem enxaguamento dado que o recipiente continha 0,7 ml de ácido nítrico (5 mol/l) para conservar a amostra. A figura 7 ilustra os recipientes utilizados para estas recolhas.



Figura 7 – Recipientes usados para recolha de água para análise dos parâmetros estudados, da esquerda para a direita: oxidabilidade, ferro e manganês.

Este estudo apresentado é baseado nas recolhas de água para consumo efetuadas no dia 29/12/2021, tendo apenas sido efetuado uma única vez. Isto deveu-se à dificuldade da efetuação das várias recolhas apresentadas no mesmo dia (de forma a ser assumido que não ocorreu uma variação significativa dos parâmetros estudados devido à variação natural das propriedades da água recolhida). Ao mesmo tempo, o objetivo de um estudo inicial destes parâmetros no sistema de adução e distribuição de água para consumo pode na mesma ser

atingido, ficando registado que as várias recolhas efetuadas apesar de pontuais, poderão servir como um ponto de partida para representar o sistema no espaço e no tempo.

Relativamente à determinação dos locais ideais para estudo, foi efetuado um estudo da rede de adução e distribuição através do Sistema de Informação Geográfica (SIG), sistema este usado pela Penafiel Verde, E.M. para cadastrar toda a rede de distribuição de água para consumo. Os vários mapas expostos relativamente a este estudo foram retirados deste sistema, de forma a ilustrar de forma visual os locais amostrados.

5.2.1. Rede de adução (transporte entre reservatórios)

Inicialmente, foi efetuado um estudo da influência da rede de adução (transporte entre reservatórios), dado que o mesmo poderá influenciar a qualidade da água antes de a mesma ser distribuída pela rede de distribuição a partir dos mesmos. A averiguação deste aspeto apresenta-se de especial relevância, dado que os vários reservatórios são locais onde a água poderá permanecer durante um tempo considerável, e a rede de adução que transporta a água entre estes reservatórios é sobretudo constituída por ferro fundido dúctil e de idade mais avançada.

Assim, de forma a ser estudada a influência deste fator nos três parâmetros de interesse, foram selecionados vários pontos de estudo para recolha de amostras, incluindo a captação de água, a ETA (reservatório de Rio de Moinhos), vários reservatórios ao longo da rede de adução (reservatórios de Cabeça Santa, Rans e Duas Igrejas), assim como o reservatório final por distância da rede de adução (reservatório de Sebolido). Estes vários pontos encontram-se representados na figura 8. As amostras foram recolhidas nos próprios reservatórios, a menos que algum impedimento tenha ocorrido que impedisse a amostragem no próprio local, sendo o único caso no reservatório de Sebolido, onde foi recolhida uma amostra na habitação mais próxima ao reservatório onde a mesma poderia ser obtida, como esquematizado na figura 9. Apesar de os valores obtidos puderem não representar fielmente os valores que seriam obtidos no próprio reservatório de Sebolido, os mesmos são efetivamente representativos da qualidade da água nas casas imediatamente depois deste reservatório e que, assim, sofreram a influência deste reservatório e do percurso até ao mesmo nos vários parâmetros em estudo, sendo a averiguação destas influências o objetivo deste estudo.

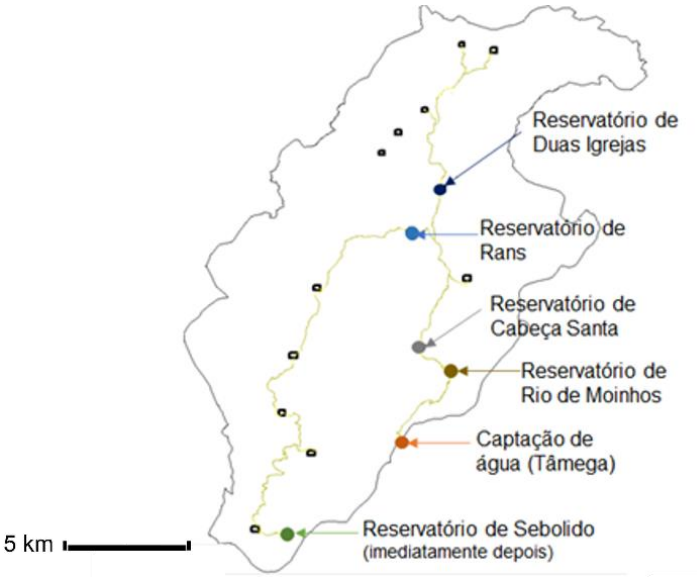


Figura 8 – Localização dos vários reservatórios da Penafiel Verde, E.M. (marcas a preto e pontos coloridos) e da rede de adução (linha a amarelo) no concelho de Penafiel.

5.2.2. Último reservatório e respetivo fim de rede

O estudo do reservatório de Sebolido é de interesse por ser o último da rede de adução (a água que lhe chega passou mais tempo em tubagens e reservatórios), como proposto anteriormente para o estudo da rede de adução. Adicionalmente, foi também proposto o estudo da última casa (por distância) fornecida por este reservatório, de forma a ser averiguada também a influência da distância na rede de distribuição, especialmente nestas circunstâncias (fornecimento da última casa da rede de distribuição a partir do reservatório mais distante relativamente ao ponto de recolha e do ponto de tratamento da água).

A figura 9 apresenta a localização dos locais de interesse para este estudo, nomeadamente do reservatório de Sebolido, da residência fornecida mais distante do mesmo e da habitação onde foi recolhida a amostra representativa do reservatório de Sebolido, dada a proximidade desta residência ao mesmo e a inabilidade de amostragem no próprio reservatório.



Figura 9 – Localização do reservatório de Sebolido, da residência estudada pela maior distância a este reservatório (circulada a vermelho) e da habitação imediatamente depois do reservatório onde foi recolhida a amostra. A rede de distribuição encontra-se realçada a azul.

5.2.3. Transporte até uma residência particular

O estudo da rede de distribuição, ou seja, do transporte existente até todas as habitações a partir dos reservatórios, completa o percurso de distribuição de água e, dado que o mesmo se trata da própria distribuição até aos consumidores, é de grande importância de estudo de forma a garantir que o mesmo não impacta negativa e significativamente a água distribuída.

Dessa forma, foi efetuado um estudo inicial até uma residência, tendo a mesma sido escolhida devido a um valor mais alto de ferro ter sido anteriormente detetado na mesma, e sendo assim representativa de um local onde uma maior preocupação da influência do sistema de adução e distribuição de água pode ser encontrada. Assim, foi pretendido ser estudada a variação da concentração de ferro e manganês e do valor de oxidabilidade até essa habitação, a partir do reservatório correspondente e sendo selecionados três pontos ao longo do percurso, como representado na figura 10.

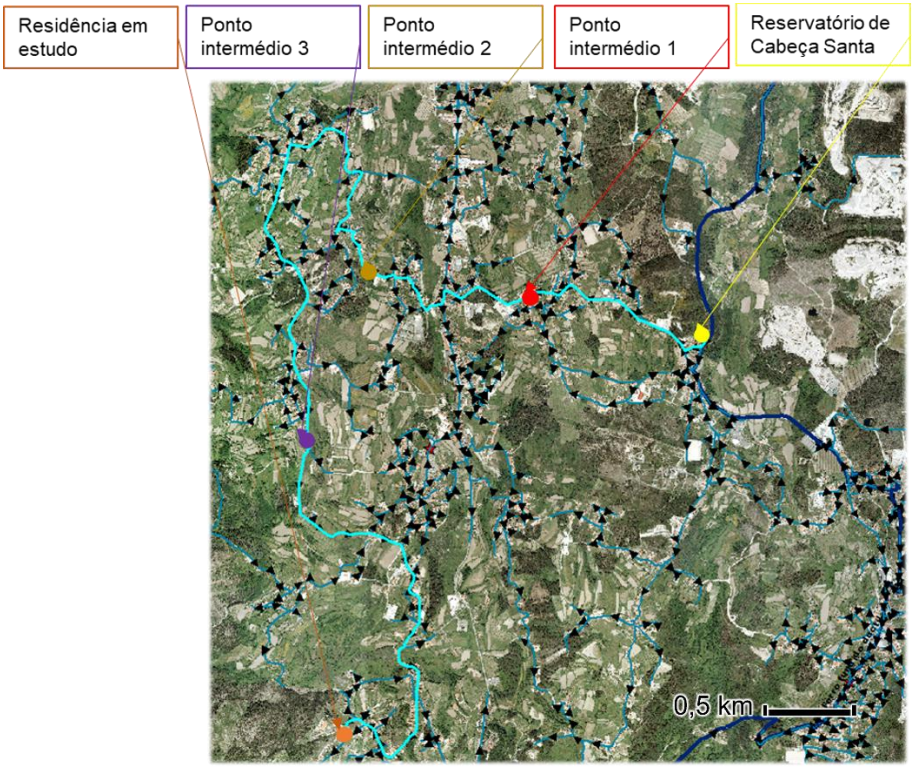


Figura 10 – Percurso até à residência em estudo desde o respetivo reservatório que a abastece (tom azul-claro, realçado), incluindo três pontos intermédios do respetivo percurso.

5.2.4. Transporte até à ETAR de Termas de S. Vicente

Da mesma forma que no estudo anterior, foi averiguada a variação dos parâmetros em causa na água para consumo até à ETAR de Termas de S. Vicente. Este local foi escolhido dada a suspeita de uma maior concentração de ferro existir na água consumida neste local devido a ser partilhado parte do percurso com o estudo anteriormente mencionado, permitindo também a possibilidade de informações adicionais serem retiradas desde a bifurcação dos dois percursos na rede de distribuição. A figura 11 apresenta os vários pontos amostrados para este estudo.

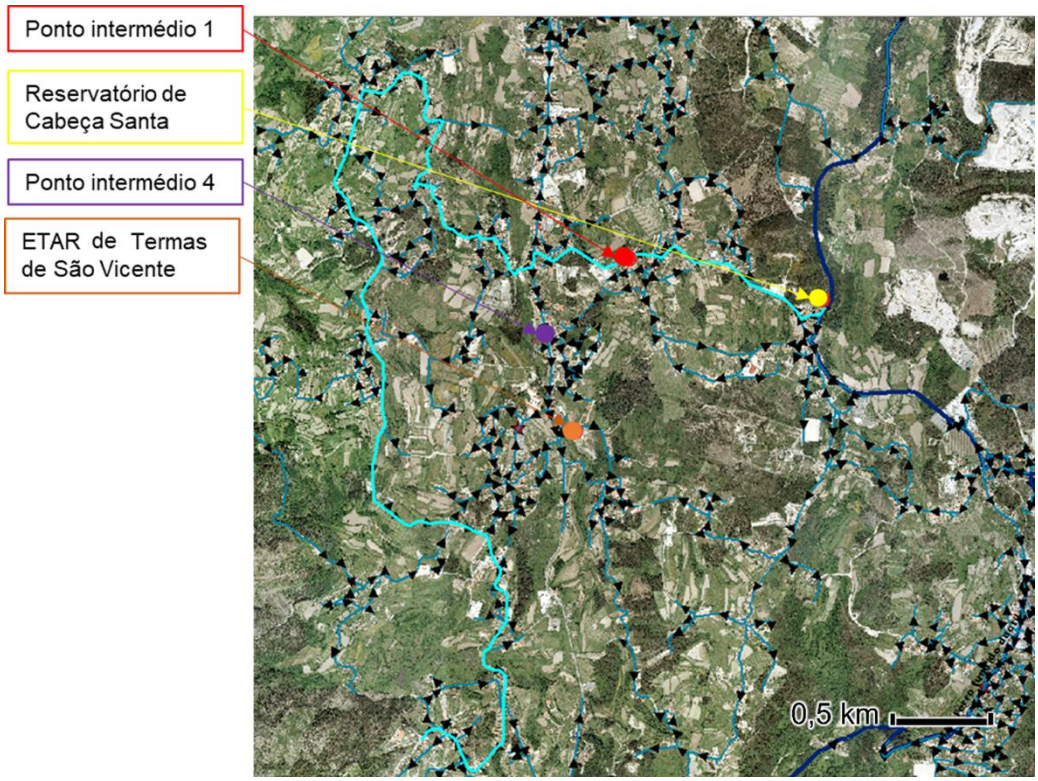


Figura 11 – Vários pontos estudados ao longo do percurso até à ETAR de Termas de S. Vicente. A tom de azul-claro realçado encontra-se o percurso até à residência também estudada (para comparação).

5.2.5. Impacto da idade das tubagens

Deverá ser esperado que a influência da idade das tubagens seja fundamental para a qualidade da água transportada. Desta forma, a limpeza e/ou substituição das mesmas poderão ser soluções necessárias caso seja determinada a deterioração da qualidade da água devido ao estado das tubagens. Assim, um estudo da influência da idade das tubagens foi efetuado, comparando as alterações nos três parâmetros em questão desde uma ramificação até ao fim de dois percursos distintos com distâncias similares à respetiva ramificação, sendo um desses percursos inteiramente feito por tubagens antigas (> 2 anos) e outro inteiramente feito de tubagens completamente substituídas por novas (< 2 anos). Tanto as tubagens antigas como as tubagens novas a partir da ramificação deste estudo são

constituídas inteiramente por PEAD, removendo a possível interferência da constituição destas tubagens no presente estudo.

O estudo da comparação da idade das tubagens foi efetuado na Zona Alta, nomeadamente em Rio Mau, onde pode ter ocorrido transporte de água com diversas origens e pelo impacto que a água das mesmas poderá ter provocado nas tubagens ao longo dos anos. A figura 12 ilustra os vários pontos amostrados.

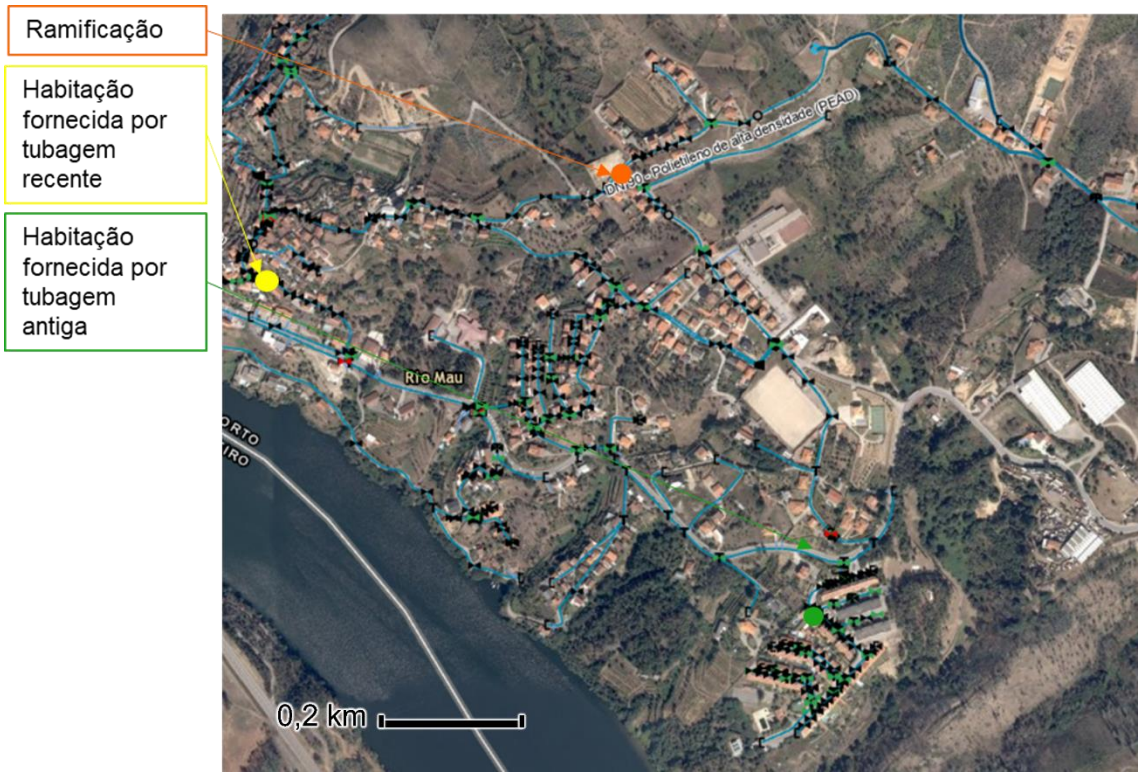


Figura 12 – Pontos estudados para comparação da influência na qualidade da água da idade das tubagens: habitação fornecida por rede nova, habitação fornecida por rede antiga e ramificação destes dois percursos.

5.3. Resultados e discussão

5.3.1. Rede de adução (transporte entre reservatórios)

Ao ser estudada a rede de adução, foi notado que a concentração de manganês e o parâmetro de oxidabilidade diminuíram de forma considerável na primeira parte do percurso, entre a captação de água (água bruta que passou apenas pela filtração lenta) e o primeiro reservatório (água clorada, pronta a ser distribuída). Esta diminuição acentuada dos dois parâmetros poderá ser atribuída a este ser o percurso inicial da rede (uma vez que seria esperado ser encontrada uma maior concentração de manganês e matéria orgânica e inorgânica mais perto da origem de água, antes da sua deposição gradual), mas deverá ser sobretudo à oxidação química que ocorre devido ao processo de cloragem na ETA (Reservatório de Rio de Moinhos), a qual deverá oxidar o manganês presente, sendo que

ocorrerá depositação química deste metal no reservatório e nas tubagens, diminuindo a sua concentração na água, como também verificado por Sly et al. (1990). Da mesma forma, a descida do parâmetro de oxidabilidade ocorreu inevitavelmente depois da adição de hipoclorito de sódio, dado que este é um oxidante químico.

Ao longo do restante percurso da rede de adução, não foi verificada uma alteração significativa entre os vários reservatórios para os três parâmetros estudados, tendo os valores registados ficando relativamente estáveis. Uma exceção poderá ser considerada para o último dos mesmos, o reservatório de Sebolido (medido numa residência imediatamente depois do reservatório), que registou uma diminuição na concentração de manganês e no valor de oxidabilidade, indicando uma melhoria nestes parâmetros. Este fenómeno poderá ter ocorrido de forma similar ao que foi proposto anteriormente para a ETA (reservatório de Rio de Moinhos), ou seja, a existência da reação entre o hipoclorito de sódio adicionado em vários pontos da rede de adução e as várias substâncias presentes na água, ocorrendo este fenómeno ao longo do transporte desta água e sendo realçada que a grande distância entre o reservatório anteriormente estudado (reservatório de Rans, a meio da rede de adução) e este último reservatório (Sebolido) poderá ter permitido um maior tempo de reação e uma maior oportunidade para deposição de materiais.

Relativamente ao ferro, não foi possível averiguar a situação relativa à concentração deste metal em nenhuma das análises efetuadas por toda a rede de adução e distribuição, uma vez que o mesmo ficou sempre abaixo do limite de quantificação do método usado pelo laboratório contratado (60 µg/l).

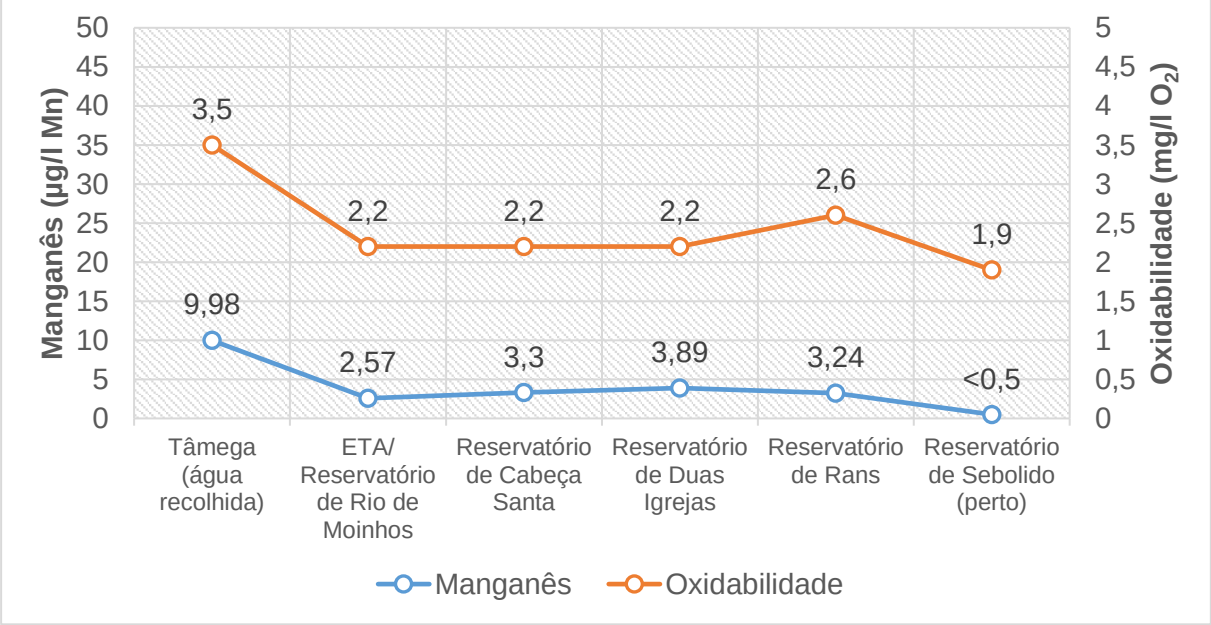


Gráfico 1 – Valores registados ao longo da rede de adução para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).

5.3.2. Último reservatório e respetivo fim de rede

A última residência (por distância) fornecida pela rede de distribuição apresenta valores de manganês e oxidabilidade relativamente altos comparativamente ao restante sistema e, em especial, ao último reservatório respetivo (representado por uma residência perto e depois do mesmo, como explicitado). No entanto, estes valores não parecem estar associados a reações que ocorrem ao longo da distância percorrida pela água, verificado pelos valores obtidos imediatamente depois do último reservatório correspondente, mas possivelmente devido a esta casa se encontrar no fim da rede de distribuição respetiva. Extremos de rede, como o estudado, distinguem-se pela possibilidade de conseguirem reter sedimentos e contaminantes, assim como água estagnada. Dessa forma, uma maior concentração de manganês e um maior valor de oxidabilidade foram registados em comparação ao último reservatório que forneceu este local amostrado.

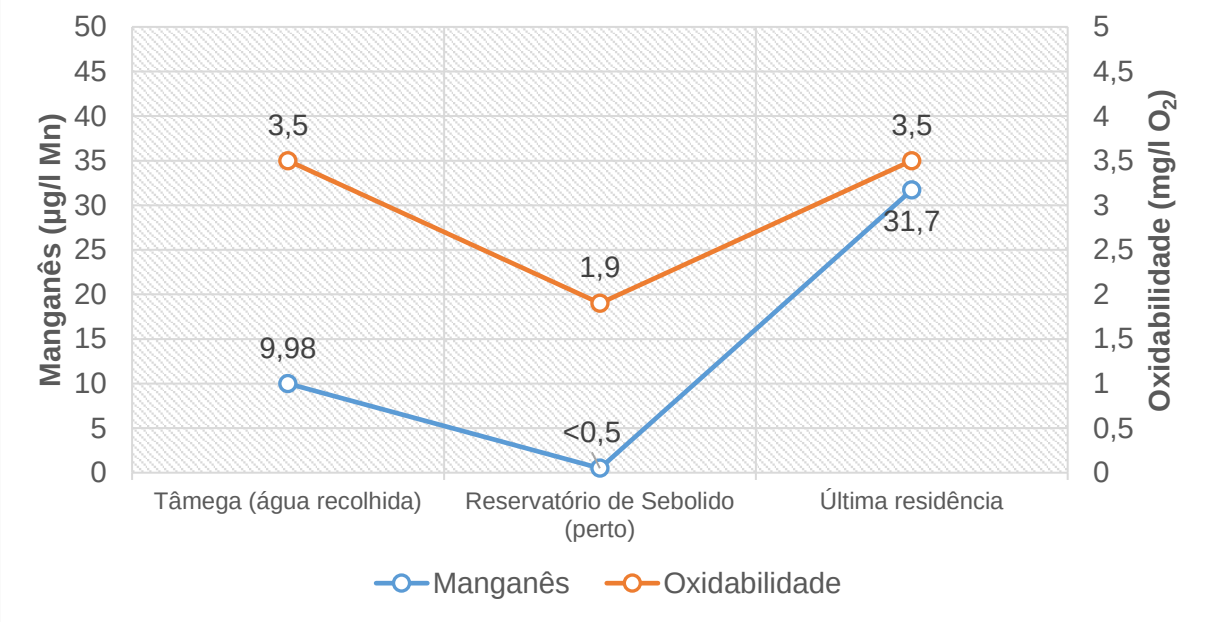


Gráfico 2 – Valores registados para a origem de água, para a residência perto do último reservatório e para o fim de rede do último reservatório (última residência) para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).

5.3.3. Transporte até uma residência particular

Ao longo deste percurso a concentração de manganês e o valor de oxidabilidade aumentaram e diminuíram de forma relativamente considerável. O aumento destes parâmetros tal como a sua diminuição ocorreu com uma maior variação que na maior parte da rede de adução. O aumento do valor de oxidabilidade é especialmente relevante por estar mais perto do valor paramétrico, apesar de uma variação da concentração de manganês ter

sido registada. A concentração de ferro, no entanto, manteve-se sempre abaixo do limite de quantificação do método usado.

Foi desta forma verificado que, de facto, a rede de distribuição de água parece impactar os parâmetros de concentração de manganês e o valor de oxidabilidade, como esperado que acontece devido ao conhecimento da possível deposição e libertação de depósitos que ocorrerá ao longo das tubagens, assim como o efeito do cloro presente na água que auxiliará este processo de deposição no caso do manganês e na diminuição do valor de oxidabilidade. É de realçar que não foram registados valores que ultrapassem o valor paramétrico estabelecido por lei, registando que a influência do percurso realizado pela água transportada, neste caso e no momento da recolha, não tornou a água imprópria para consumo.

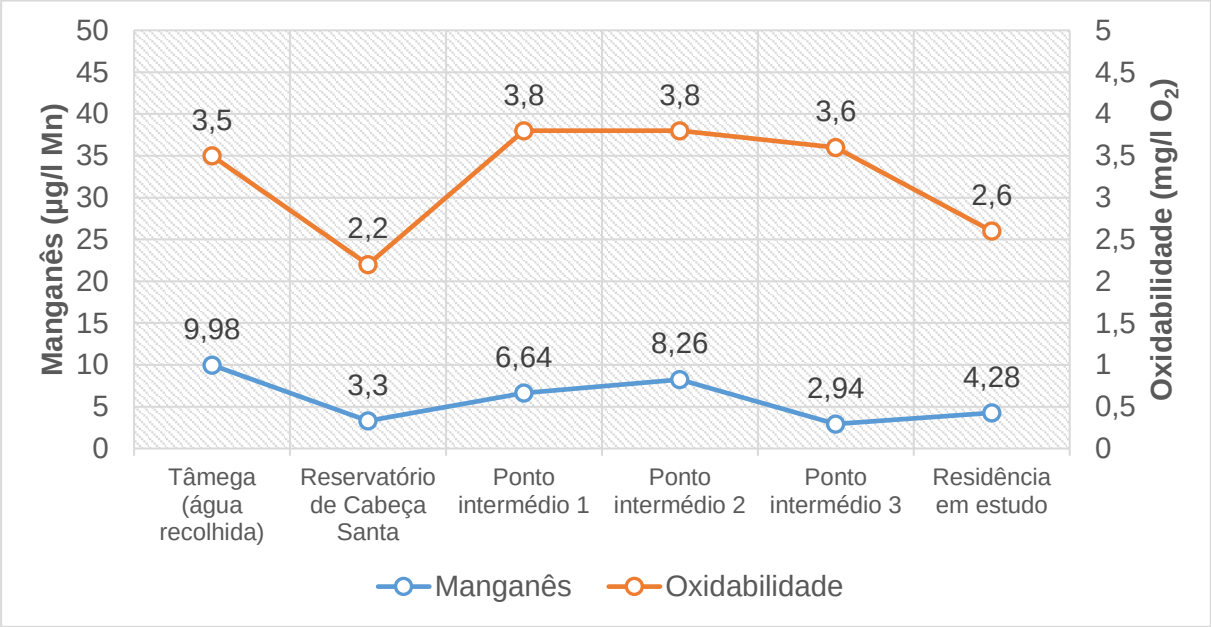


Gráfico 3 – Valores registados para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade até à residência estudada, incluindo a origem de água, o último reservatório que fornece a residência em questão (reservatório de Cabeça Santa) e três pontos intermédios de estudo. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).

5.3.4. Transporte até à ETAR de Termas de S. Vicente

O estudo do percurso até à ETAR de Termas de S. Vicente, que partilha parte do percurso até à residência estudada anteriormente, permitiu tirar as mesmas conclusões que esse estudo anterior, sendo registado que para além do percurso partilhado também no restante trajeto ocorre uma variação relevante dos parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade, enquanto a concentração de ferro ficou abaixo de 60 µg/l (limite de quantificação).

De forma similar ao estudo anterior à residência particular, foi verificado neste percurso alternativo a influência do próprio transporte da água nos mesmos parâmetros já descritos. É de novo assinalado que não foram registados incumprimentos aos valores paramétricos estabelecidos. O normal transporte da água para consumo não aparenta assim registar, normalmente, valores preocupantes para estes parâmetros, de acordo com os percursos estudados.

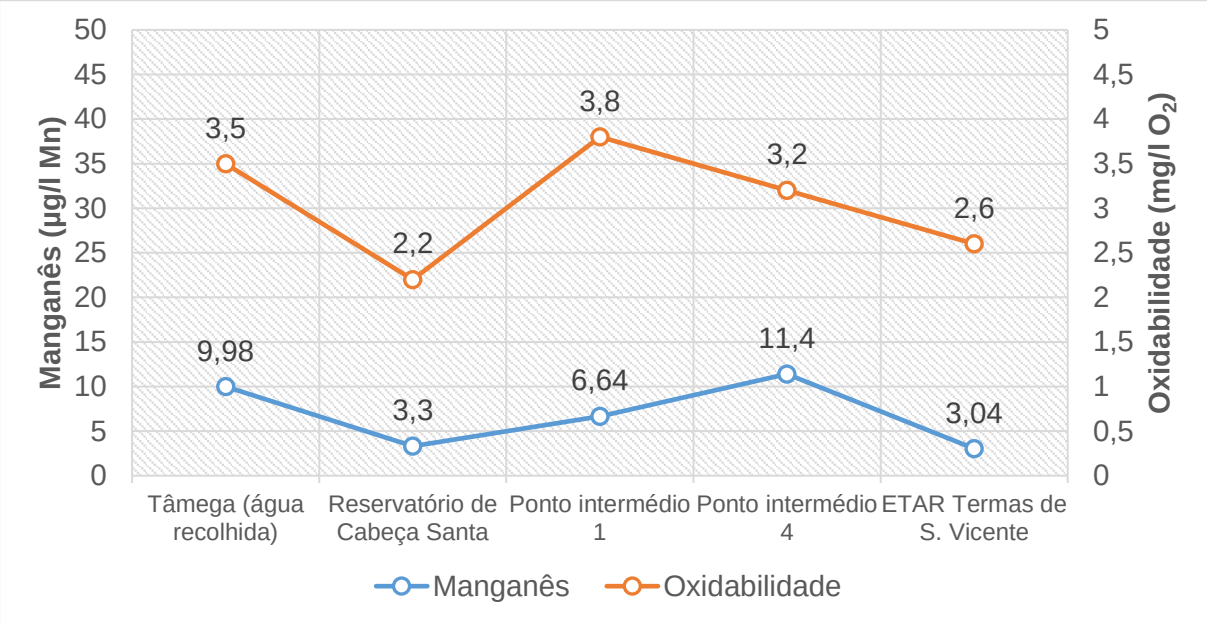


Gráfico 4 – Valores registados para os parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade até à ETAR de Termas de S. Vicente, englobando a origem de água, o último reservatório do percurso (reservatório de Cabeça Santa) e dois pontos intermédios de estudo. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).

5.3.5. Impacto da idade das tubagens

Quanto à comparação entre idades, não foram tão aparentes diferenças significativas na concentração de manganês em contraste com os resultados obtidos para este parâmetro em outros locais estudados, mas o valor do parâmetro oxidabilidade apresentou uma diminuição mais considerável nas tubagens novas que nas tubagens antigas. Um melhor estado destas tubagens, devido à sua menor idade, poderá ter contribuído para este resultado, por exemplo, ao existirem menos depósitos presentes e uma menor corrosão das paredes internas das tubagens (que levará a uma cloragem mais eficaz). Mais estudos relativos à idade das tubagens e ao estado de limpeza da mesma poderão ser efetuados e serão de interesse, dado que esta poderá ser uma solução possível para problemas encontrados relativamente aos parâmetros em estudo.

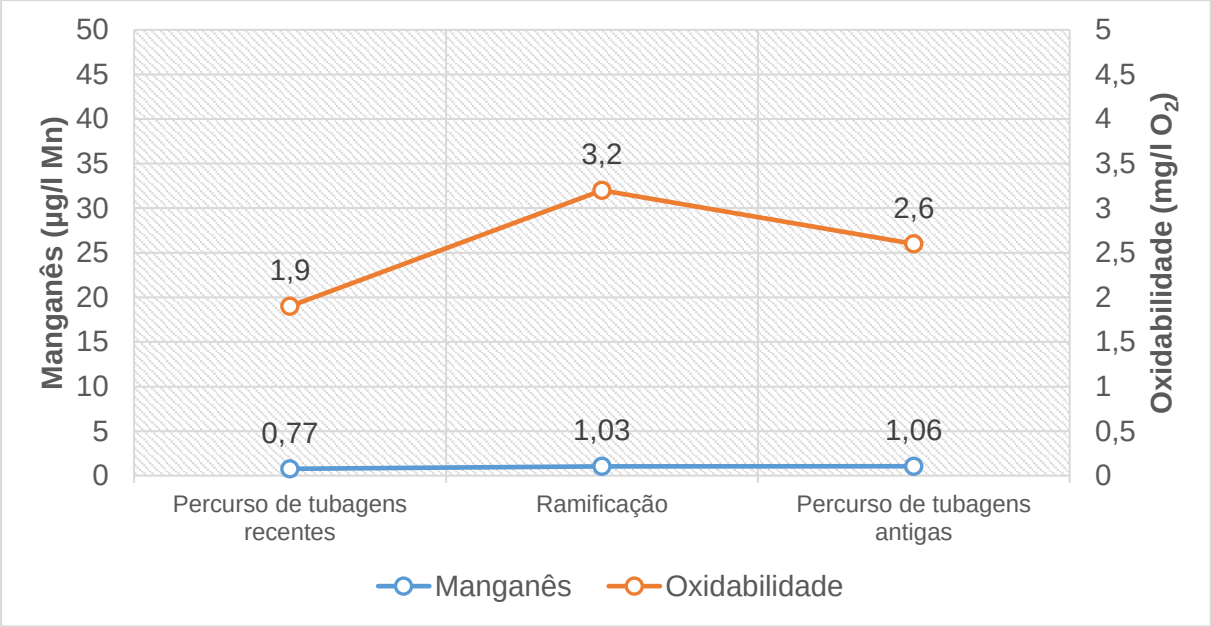


Gráfico 5 – Comparação da influência da idade de tubagens nos parâmetros de concentração de manganês e valor de oxidabilidade em Rio Mau. A concentração de ferro ficou sempre abaixo do limite de quantificação (60 µg/l).

5.4. Conclusões e recomendações

De acordo com os resultados obtidos, a concentração de manganês e o valor do parâmetro oxidabilidade variaram ao longo da rede de adução e distribuição de água, aumentando e diminuindo ao longo da mesma, como esperado que acontecesse dado o conhecimento da dinâmica destes parâmetros neste tipo de sistemas. Relativamente aos valores obtidos, não foi registado nas várias amostras efetuadas nenhuma infração aos valores paramétricos estabelecidos pela legislação em vigor para os três parâmetros analisados (concentração de ferro e manganês e valor de oxidabilidade), ou seja, não é esperado que a dinâmica normal dos parâmetros estudados ao longo da rede de adução e distribuição afete de forma drástica os mesmos ao passar dos valores permitidos por lei. No entanto, dado que estes componentes se encontram potencialmente presentes nas tubagens, não é possível descartar o possível acontecimento de grandes libertações espontâneas dos materiais depositados ocorrerem de forma excecional com contaminação da água circulante de forma a superar os limites seguros estabelecidos, nomeadamente aquando de distúrbios na rede de adução e distribuição de água, como roturas nas tubagens, ou em locais problemáticos, como fins de rede. Mais estudos deverão ser efetuados para outros percursos (por exemplo, em localidades com um maior registo de queixas dos consumidores e de distúrbios registados), de forma a melhor ser conhecida a rede de água para consumo da Penafiel Verde, E.M., assim como possivelmente identificadas tubagens que necessitam de reparação, limpeza ou substituição devido ao possível impacto negativo que causarão na qualidade da água devido ao ser estado atual.

Relativamente ao caso particular da concentração de ferro, a variação da concentração deste metal não foi possível de ser averiguada, uma vez que ficou sempre abaixo do limite de quantificação. No entanto, é esperado que a mesma tenha variado (aumentado e/ou subido) ao longo da rede de adução e distribuição, como é sabido que tal pode ocorrer de forma natural neste tipo de sistemas. No entanto, o valor registado para a concentração de ferro nunca registou valores altos, sendo que os dados não apontaram para uma alta concentração natural deste elemento na fonte de água (após o processo de filtração lenta) nem que a concentração tivesse aumentado ao longo da rede (acima do limite de quantificação do método usado, de 60 µg/L). Assim, é esperado que altos valores da concentração de ferro estejam associados e sejam apenas encontrados aquando de situações excecionais de libertação de depósitos consideravelmente grandes, por exemplo, devido a uma perturbação hidráulica no sistema ou num fim de rede (que acumulará resíduos), como mencionado anteriormente.

Desta forma, conclui-se que as possíveis libertações espontâneas de grandes depósitos aparentam ser os principais problemas que poderão levar à diminuição drástica da qualidade da água ao longo da rede de distribuição, dado que para os estudos efetuados a variação natural registada não foi preocupante para as situações de abastecimento normal. Assim, como recomendado pelo Guia Técnico 10 – “Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água” do IRAR, a realização de descargas de água pelos hidrantes mais próximos (por exemplo, no fim de rede averiguado neste estudo) poderá ser das soluções a aplicar para ajudar a corrigir os incumprimentos relativos aos parâmetros organoléticos, limpando a rede associada e sendo assim expurgados sedimentos e contaminantes presentes. Este trata-se de um método simples, em que é realizada a descarga de água através de um hidrante até que a mesma atinja a qualidade que seria esperada (Rubulis et al., 2008). De forma complementar, a limpeza dos vários reservatórios da rede de água da Penafiel Verde, E.M., especialmente da ETA onde ocorre a adição inicial de hipoclorito de sódio, será fundamental de forma a evitar a libertação de depósitos que poderão ser formados nestes locais. Um plano regular de descargas em locais problemáticos da rede, assim como a implementação de um plano regular de limpeza e higienização dos reservatórios existentes, poderá ser, desta forma, de interesse para manter a boa qualidade da água, como aconselhado no Anexo I. Com estas medidas, é esperado que ocorra uma menor presença de depósitos no sistema de adução e distribuição de água, contribuindo para a diminuição e redução da gravidade de ocorrências de libertações de contaminantes aquando de perturbações hidráulicas do sistema, assim como a diminuição da presença de contaminantes em fins de rede.

6. Presença de contaminantes emergentes nas águas da Penafiel Verde, E.M.

6.1. Introdução: Contaminantes emergentes

A boa qualidade e segurança da água usada para consumo é de fundamental importância para a saúde pública, dado que poderá ser por esta via que várias doenças poderão ser transmitidas ao ser humano e possivelmente prejudicar gravemente a sua saúde, sendo que estas doenças podem ser causadas não só por microrganismos como também por contaminantes químicos (Villanueva et al., 2014). Entre os vários contaminantes químicos ambientais, os denominados contaminantes emergentes têm chamados bastante atenção quanto à sua presença no ambiente e quanto aos seus possíveis efeitos no ambiente e na saúde humana, os quais são ainda muito incertos (Dulio et al., 2018; Montes et al., 2022).

Desta forma, os contaminantes emergentes são definidos como químicos naturais ou sintéticos que podem ocorrer no ambiente, mas não são normalmente monitorizados, podendo os mesmos potencialmente causar efeitos nocivos em humanos, outros seres vivos e no ambiente (Careghini et al., 2015). A designação de contaminante emergente refere-se assim a químicos não regulados que estão a começar a aparecer no ambiente ou a químicos que já estão presentes no ambiente há algum tempo, mas cuja presença só começou a ser estudada de forma recente (Dulio et al., 2018). Entre os vários grupos de contaminantes emergentes mais conhecidos, incluem-se os subprodutos de desinfeção, compostos industriais, fármacos e produtos de higiene pessoal, entre outros (Lei et al., 2015: Dulio et al., 2018).

Os contaminantes emergentes são normalmente detetados em concentrações muito baixas, podendo ser detetados em mg/l, mas geralmente na ordem dos ng/l em efluentes urbanos e massas de água superficiais (Ribeiro et al., 2016; Pereira et al., 2020). No entanto, dado que a sua presença já foi amplamente verificada nas massas de águas portuguesas (Ribeiro et al., 2016), poderão surgir receios de que alguns destes contaminantes poderão depois encontrar-se em concentrações preocupantes na água para consumo, sobretudo considerando os potencias perigos que os mesmos poderão apresentar para a saúde humana (Villanueva et al., 2014; Lei et al., 2015).

Desta forma, dado o receio do possível consumo deste tipo de compostos possivelmente tóxicos, foi proposto o estudo de alguns destes contaminantes, nomeadamente de alguns com uma maior preocupação emergente, na água com destino a consumo humano por parte da Penafiel Verde, E.M., de forma a ser averiguada a possível existência destes

compostos nesta água e ser assim certificada a boa qualidade da mesma para consumo mesmo nestes parâmetros normalmente não averiguados mas no entanto preocupantes, sendo assim também incentivado o consumo da água fornecida pela empresa municipal. O estudo da presença deste tipo de químicos na água para consumo também será de interesse ao ser também obtido um conhecimento da possível necessidade futura da implementação de tratamento adicionais para tornar a água própria para consumo, dado que eventualmente estes compostos poderão vir a ser incorporados nos PCQA da Penafiel Verde, E.M., sendo assim obtido um maior tempo de resposta para implementação das medidas necessárias.

Dado os vários aspetos levantados anteriormente relativamente a estes contaminantes, assim como a intensão por parte da Penafiel Verde, E.M. da investigação dos mesmos, foram selecionados vários parâmetros de maior interesse para serem averiguados, de acordo com o conhecimento desenvolvido até ao momento e a legislação disponível. Desta forma, entre os vários contaminantes emergentes que se manifestam de interesse para estudo, foram selecionados para pesquisa quatro grupos que se considerou de especial importância: os ácidos haloacéticos, o bisfenol A, as PFAS e um conjunto de fármacos diversos.

6.1.1. Ácidos haloacéticos

Entre os vários compostos englobados na designação de contaminantes emergentes encontram-se os subprodutos de desinfeção (Lei et al., 2015). Estes compostos resultam do processo de desinfeção da água para a tornar própria para consumo, originando-se através da reação de matéria orgânica presente na água com um reagente químico desinfetante (Chaves et al., 2019).

Entre os vários tipos de subprodutos de desinfeção presentes em água desinfetada encontram-se os ácidos haloacéticos, sendo os mesmos o segundo grupo mais prevalente dos subprodutos de desinfeção neste tipo de água (Parvez et al., 2019). Apesar de os vários estudos desenvolvidos até ao momento não permitirem retirar conclusões significativas quanto à relação entre a exposição a ácidos haloacéticos e ocorrência de certos cancros, vários dos compostos englobados por esta designação de ácidos haloacéticos são antecipados de serem carcinogénicos para o ser humano, de acordo com os estudos efetuados em animais até ao momento (National Toxicology Program, 2018). Estes compostos também poderão estar na origem de outros efeitos nocivos, como stresse oxidativo (National Toxicology Program, 2018).

Dado que o processo de desinfeção é utilizado no tratamento de água efetuado pela Penafiel Verde, E.M., assim como utilizado para o mesmo hipoclorito de sódio, é esperado

que estes contaminantes (ácidos haloacéticos) estejam presentes na água tratada e distribuída para consumo.

Apesar da sua existência ser reconhecida, tal como os seus possíveis efeitos tóxicos, atualmente a legislação portuguesa não instrui para que estes compostos sejam averiguados na água para consumo (segundo o Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro), apesar de uma diretiva europeia que o requisita estar neste momento aprovada, a Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020. De acordo com a Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020, o valor paramétrico postulado para os ácidos haloacéticos em água para consumo é de 60 µg/l, medido pela soma de cinco substâncias representativas conhecidas como HAA5: ácido monocloroacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido monobromoacético e ácido dibromoacético (Evans et al., 2020). Adicionalmente, outros ácidos haloacéticos poderão também ser pesquisados de forma a ser obtido um maior conhecimento da sua presença, como o ácido tribromoacético, o ácido bromocloroacético, o ácido dibromocloroacético e o ácido bromodicloroacético que, em conjunto, os nove compostos são conhecidos como HAA9 (Evans et al., 2020).

6.1.2. Bisfenol A

O bisfenol A é um químico sintético usado sobretudo na produção de plásticos policarbonatos, estando presentes em produtos como garrafas de água e resinas epóxi que recobrem latas metálicas de comida (National Institute of Environmental Health Sciences, 2021). Devido a este composto ser usado para uma grande diversidade de produtos, o mesmo pode ser encontrado de forma ubíqua em ambientes domésticos (Khan et al., 2021).

Este contaminante é considerado um disruptor endócrino e está associado a doenças endócrinas e oncológicas e a problemas do sistema imunitário (Cimmino et al., 2020). Desta forma, o bisfenol A encontra-se ligado a inúmeros efeitos nocivos à saúde humana, incluindo problemas reprodutivos e metabólicos (Cimmino et al., 2020), assim como possivelmente a diversos cancros (Gao et al., 2015).

As consequências nefastas deste composto já são, e continuam a ser, bem estudadas, sendo que a Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020, estabelece um valor paramétrico para o bisfenol A na água para consumo, de 2,5 µg/l.

Em Portugal, o bisfenol A foi detetado em inúmeras massas de água (rios e água estuarina) por todo o país e, apesar de geralmente encontrado na ordem dos ng/l, este já foi detetado até uma concentração de 10,7 µg/l (Ribeiro et al., 2016).

6.1.3. PFAS

As PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) são substâncias amplamente utilizadas, sendo encontradas em inúmeros produtos para uso comercial e industrial (United States Environmental Protection Agency, 2022c), por exemplo, em espumas de combate a incêndios, eletrónicos, embalagens para comida, produtos de limpeza e de higiene pessoal, utensílios não aderentes de cozinha, etc. (United States Environmental Protection Agency, 2022b). Estes contaminantes degradam-se muito lentamente, sendo devida à sua persistência e grande uso atualmente encontrados em muitos ambientes e já tendo sido detetados no sangue de pessoas por todo o mundo (United States Environmental Protection Agency, 2022c).

Estudos efetuados relativamente aos efeitos das PFAS na saúde humana levaram a concluir que estas substâncias podem levar a consequências nefastas a nível reprodutivo, no desenvolvimento normal de crianças, podem aumentar o risco de vários cancros e reduzir a ação do sistema imunitário, entre vários outros efeitos nocivos (United States Environmental Protection Agency, 2022b).

Tendo em conta os efeitos tóxicos destes compostos, e dada a sua possível obrigatoriedade de pesquisa futura na água para consumo, um estudo da presença de PFAS na água para consumo seria de grande interesse, de forma a confirmar a segurança do consumo da água distribuída pela Penafiel Verde, E.M.

A Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020 manifesta que a soma de PFAS em água para consumo não deve ultrapassar o valor paramétrico de 0,1 µg/l. “Soma de PFAS” está definido como a soma de 20 substâncias perfluoroalquiladas e polifluoroalquiladas consideradas preocupantes para a água com destino para consumo humano. Recomendou-se, para um estudo inicial destes contaminantes, a pesquisa de duas destas substâncias representativas deste grupo: o ácido perfluorooctanóico (PFOA) e o ácido perfluorooctanoanossulfónico (PFOS) (Lei et al., 2015). Adicionalmente, foi também estudado outro composto desta família, a perfluorooctanossulfonamida (PFOSA), pela oportunidade de o ser feito e apesar de não se inserir no parâmetro “Soma de PFAS”.

6.1.4. Fármacos

A presença de vários fármacos tem vindo a ser detetada em várias águas residuais e massas de água naturais em Portugal (Ribeiro et al., 2016), o que levanta a preocupação da sua possível existência na água para consumo, dado que o conhecimento da sua presença neste tipo de água é ainda limitado. Da mesma forma, o conhecimento do impacto destes

contaminantes na saúde humana é ainda pouco conhecido (Villanueva et al., 2014; Lei et al., 2015). No entanto, dada a emergência destes químicos, será de interesse ser averiguada a possível presença dos mesmos, obtendo-se uma melhor imagem da água com destino a consumo humano da Penafiel Verde, E.M.

Desta forma, um grande grupo de fármacos (54 no total) foi proposto de ser pesquisados na água para consumo da Penafiel Verde, E.M., tal como também nas águas residuais tratadas desta empresa. Apesar de nenhum valor paramétrico na água para consumo ou valor limite de emissão nas águas residuais ser aplicado, a evolução do conhecimento da presença destes contaminantes manifesta-se de grande curiosidade, assim como também permite caracterizar melhor a qualidade destes dois tipos de água no concelho de Penafiel. A tabela 4 apresenta os vários fármacos pesquisados, assim como o limite de quantificação estabelecido pelo laboratório externo contratado para a averiguação da presença destes químicos.

Fármacos	**Limite de quantificação (µg/l)**
Ácido clofíbrico	0,010
Anastrozol	
Atenolol	
Azatioprina	
Bezafibrate	
Buprenorfina	
Butorfanol	
Cafeína	
Capecitabina	
Carbamazepina	
Cetoprofeno	
Chloramphenicol	
Ciclobenzaprina	
Ciclofosfamida	
Citalopram	
Diazepam	
Diclofenaco	
Enalapril	
Fluoxetine	
Flutamida	
Furosemida	

Gabapentin	
Hidroclorotiazida	
Ifosfamida	
Indomethacin	
Lincomycin	
Loperamida	
Metoprolol	
Metronidazol	
Micofenolato de mofetil	
Naproxeno	
Oxazepam	
Paclitaxel	
Paracetamol (acetaminofeno)	
Piroxicam	
Propranolol	
Salbutamol	
Sertraline	
Sotalol	
Sulfamethazine	
Sulfametoxazol	
Terbutalina	
Thebain	
Tramadol	
Trimetoprim	
Valsartan	
Varfarina	
Zolpidem	
Gemfibrozil	0,020
Ciprofloxacina	0,030
Iohexol	
Iomeprol	
Iopamidol	
Iopromide	

Tabela 4 – Limites de quantificação (µg/l) propostos pelo laboratório externo contratado para a averiguação dos vários fármacos nomeados.

6.2. Materiais e métodos

De forma a ser estudada a existência dos vários contaminantes emergentes selecionados para estudo, as amostras foram recolhidas no local mais apropriado para o estudo da presença dos mesmos. O estudo do bisfenol A, das PFAS (PFOA, PFOS e PFOSA) e do grupo de fármacos selecionados foi efetuado na fonte de água, dado o interesse do estudo das propriedades da água antes da mesma ser tratada para consumo. Dada a situação particular da Penafiel Verde, E.M., a recolha da amostra para estudo teve de ser recolhida após o processo de filtração lenta (como descrito anteriormente) na captação de água, mas antes de a mesma ser bombeada para a ETA e tratada na mesma (onde apenas ocorreria o processo de desinfeção por cloragem).

Dado que os ácidos haloacéticos são produtos de desinfeção, os mesmos foram pesquisados depois da fase final de desinfeção da água. O local escolhido para recolha da amostra para o estudo da presença de ácidos haloacéticos foi em Duas Igrejas, depois de 750 metros de condutas a partir do último reservatório respetivo (Reservatório de Duas Igrejas), como identificado na figura 13. Este local foi escolhido por ser efetuada uma recloragem neste último reservatório (depois da água já ter sido anteriormente clorada e reclorada uma vez), sendo relativamente perto do reservatório (dado que estes compostos poderão degradar-se ao longo do transporte), mas afastado o suficiente para considerar o tempo de reação do desinfetante usado. Tendo em conta a situação especificada, é esperado que este seja um dos locais do sistema onde existirá uma maior presença de subprodutos de desinfeção, sendo dessa forma um bom local para estudo. Também na proximidade do local existem bastantes habitações fornecidas pela Penafiel Verde, E.M., sendo que a escolha deste local permite desta forma obter informações reais sobre a qualidade de água que é fornecida aos clientes desta empresa.

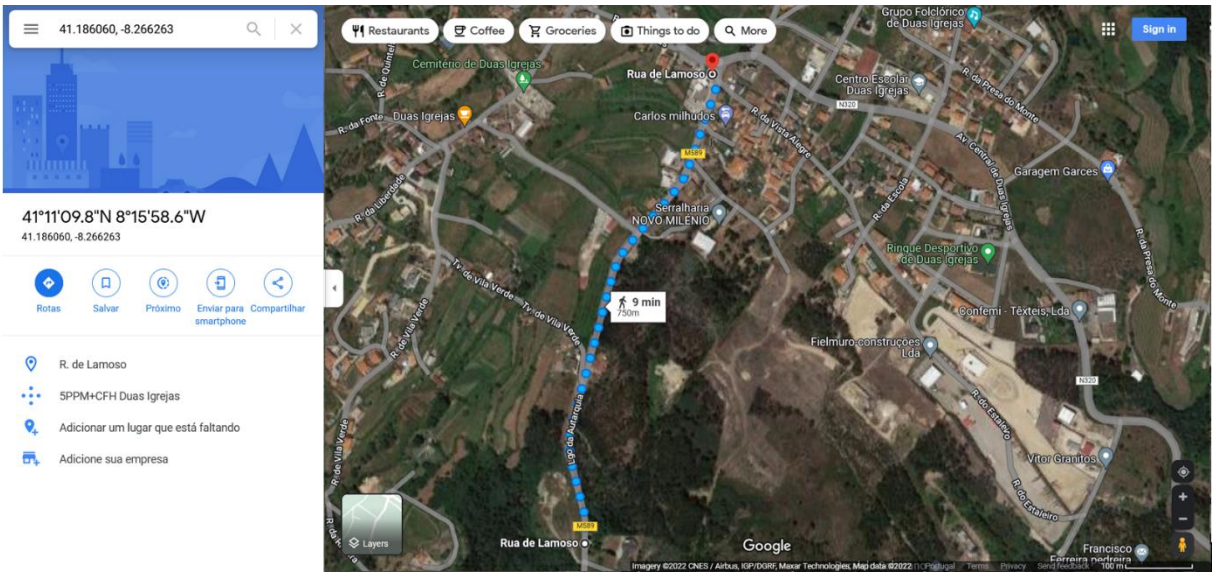


Figura 13 – Informações e mapa indicando o local (indicador vermelho) onde foi efetuada a amostram de água para pesquisa dos ácidos haloacéticos, tal como o percurso desde o último reservatório até esse local. Fonte: Google Maps (27/11/2022)

Dado que seria de esperar que a presença de fármacos nas massas de água fosse devido à descarga de efluentes, foi também de interesse por parte da Penafiel Verde, E.M. a averiguação da existência dos mesmos nas águas residuais tratadas prontas a ser descartadas, de forma a ser adquirido um maior conhecimento relativo a esta situação. Para isso, foi escolhida uma ETAR representativa para efetuar a respetiva amostragem, sendo esta a ETAR de Termas de S. Vicente, dado que esta é a maior das ETAR sob a responsabilidade desta empresa municipal e recebendo a mesma águas residuais de um maior número de localidades, possuindo estas localidades também diferentes densidades populacionais, contribuindo dessa forma para um estudo mais inclusivo da população penafidelense. Para este estudo foi efetuada uma amostra composta de 24 horas, de forma a ser obtida uma melhor informação das propriedades das águas residuais desta ETAR.

A análise de todos estes parâmetros foi efetuada por uma empresa externa subcontratada e certificada para o efeito, sendo as amostras recolhidas em frascos apropriados e fornecidos para estes estudos. O estudo destes parâmetros foi efetuado no dia 5 de abril de 2022, apenas uma vez durante o período de tarde.

6.3. Resultados e discussão

6.3.1. Ácidos haloacéticos

Ao ser analisada a amostra, foi detetado que vários dos ácidos haloacéticos procurados estavam de facto presentes. No entanto, todos estes subprodutos de desinfeção encontravam-se apenas em valores muito baixos, sendo que as concentrações de três dos nove compostos pesquisados ficaram abaixo do limite de quantificação (gráfico 6). Ao ser averiguado o valor do parâmetro HAA5 (cujo valor paramétrico de referência existe em legislação europeia), foi determinado um valor <19,46 µg/l, muito inferior ao valor paramétrico estipulado de 60 µg/l.

É desta forma notado que a presença de ácidos haloacéticos é de facto sentida na água tratada para consumo, como seria de esperar, mas a sua presença não se manifestou preocupante, dado que os valores determinados ficaram, de forma segura, abaixo do valor paramétrico estipulado, mesmo num local onde seria esperada uma maior presença destes subprodutos de desinfeção. Mesmo considerando a totalidade dos nove ácidos haloacéticos investigados, designados em conjunto de HAA9, foi determinada uma concentração <32,95 µg/l, consideravelmente menor que o valor paramétrico estipulado para este tipo de contaminantes. É de considerar, no entanto, que a presença destes químicos deverá variar devido a vários parâmetros, como as características naturais da água e a sazonalidade (Parvez et al., 2019), sendo que os resultados obtidos podem apenas ser interpretados

relativamente ao local e data da amostra efetuada. No entanto, realça-se que os resultados obtidos foram positivos.

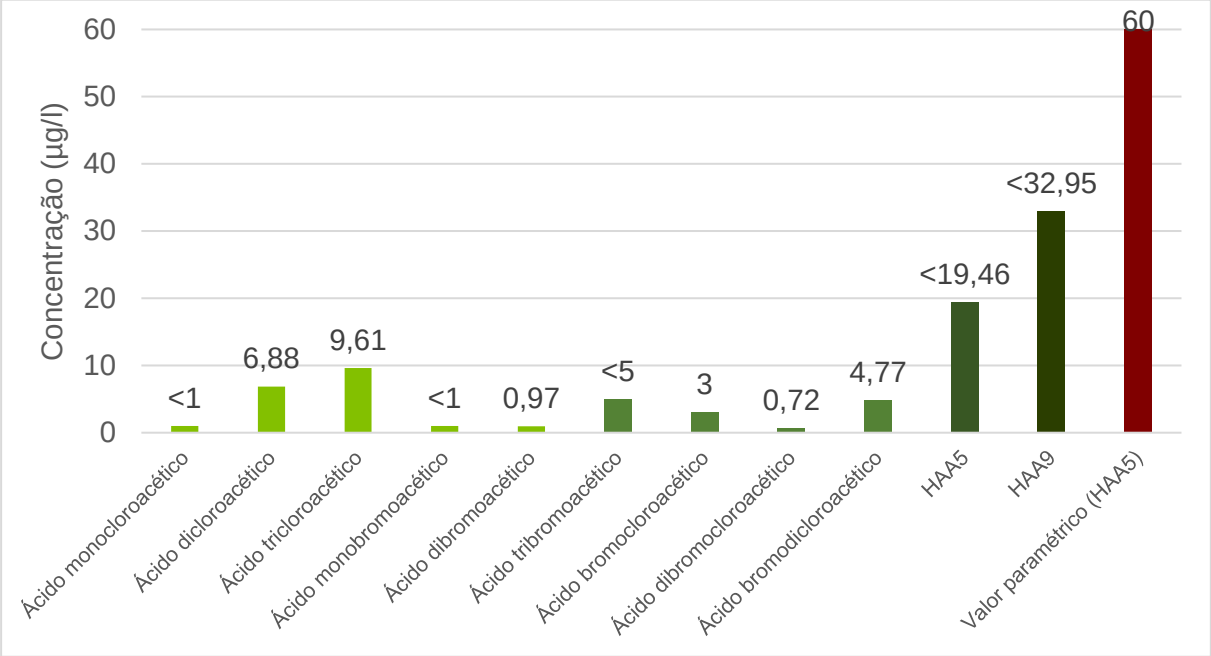


Gráfico 6 – Resultados obtidos da concentração de ácidos haloacéticos no local averiguado (Duas Igrejas), no dia 5 de abril de 2022, às 14h30 (aproximadamente). Os valores dos ácidos monocloroacético, monobromoacético e tribromoacético ficaram abaixo do limite de quantificação do método usado pelo laboratório.

6.3.2. Bisfenol A

Relativamente à determinação da presença de bisfenol A, a concentração do mesmo ficou abaixo do limite de quantificação do método usado pelo laboratório, de 0,05 µg/l, ou seja, este composto não foi detetado na amostra de água bruta analisada, sendo que se o mesmo estivesse presente este não alcançou o patamar de 0,05 µg/l, um valor consideravelmente menor que o valor paramétrico estabelecido na Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020 de 2,5 µg/l, como representado no gráfico 7. Desta forma, não seria esperado que a população penafidelense tivesse sido exposta a este contaminante através da água para consumo distribuída.

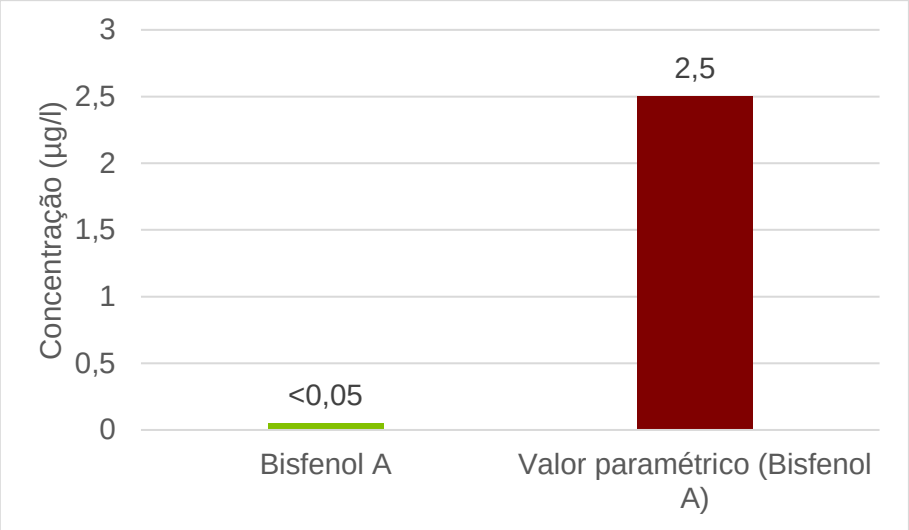


Gráfico 7 – Resultados obtidos da concentração de bisfenol A na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente), comparativamente ao valor paramétrico apresentado na Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020.

6.3.3. PFAS

Das várias PFAS possíveis de serem pesquisadas, foram selecionadas para estudo 3 substâncias, PFOA, PFOS E PFOSA, como referido previamente. Em consideração ao resultado obtido da quantificação destas substâncias na água para consumo da Penafiel Verde, E.M., é de notar que todas as mesmas ficaram abaixo do limite de quantificação respetivo para cada uma das substâncias (de 0,001 µg/l para o PFOA e o PFOS e de 0,0025 µg/l para a PFOSA) como ilustrado no gráfico 8, limites estes muito mais baixos que o respetivo valor paramétrico da legislação europeia mencionada anteriormente (que para a soma das 20 PFAS seria de 0,1 µg/l). Apesar de ser necessária a averiguação da totalidade das 20 substâncias enumeradas para ser indicado se o valor paramétrico estabelecido foi cumprido, os resultados obtidos indicam positivamente para a possível aprovação do mesmo, sendo que pelo menos as três substâncias averiguadas não levantaram preocupações para a qualidade da água para consumo.

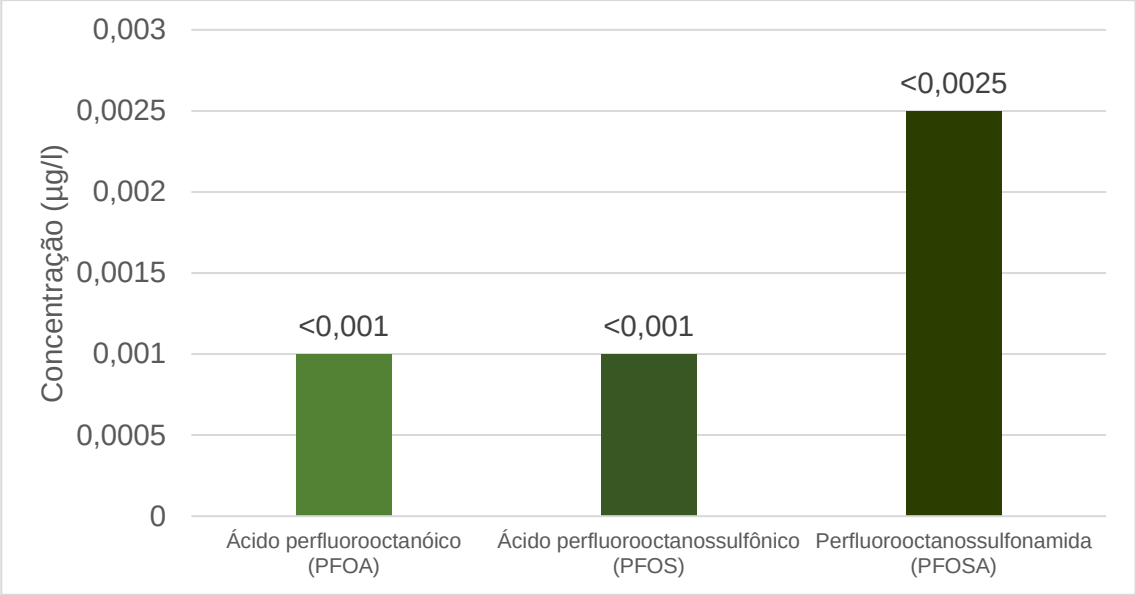


Gráfico 8 – Resultados obtidos da concentração das três PFAS analisados (PFOA, PFOS e PFOSA) na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente).

6.3.4. Fármacos

Dos 54 fármacos pesquisados apenas 12 foram encontrados na água bruta com destino a consumo humano, ficando os restantes 42 fármacos abaixo do limite de quantificação proposto pelo laboratório. Dos 12 fármacos detetados na amostra de água para consumo, a concentração máxima identificada para qualquer um dos fármacos foi de 0,157 µg/l (gabapentin), ficando dessa forma todos os fármacos presentes na ordem dos ng/l, concentrações efetivamente muito baixas, e perfazendo na totalidade uma concentração de apenas 0,878 µg/l. O gráfico 9 demonstra as concentrações dos vários fármacos identificados na amostra.

É difícil de concluir se as concentrações encontradas são, de facto, preocupantes, dada a falta de informação e legislação relativa a este tópico. No entanto, dado que apenas 22% dos fármacos pesquisados estavam presentes na amostra (acima do limite de quantificação), e que estes químicos encontrados estavam presentes em concentrações muito baixas (isto é, comparativamente às doses clínicas destes químicos e das concentrações presentes nas águas residuais), não é esperado que os mesmos tenham efeitos nefastos na saúde dos consumidores.

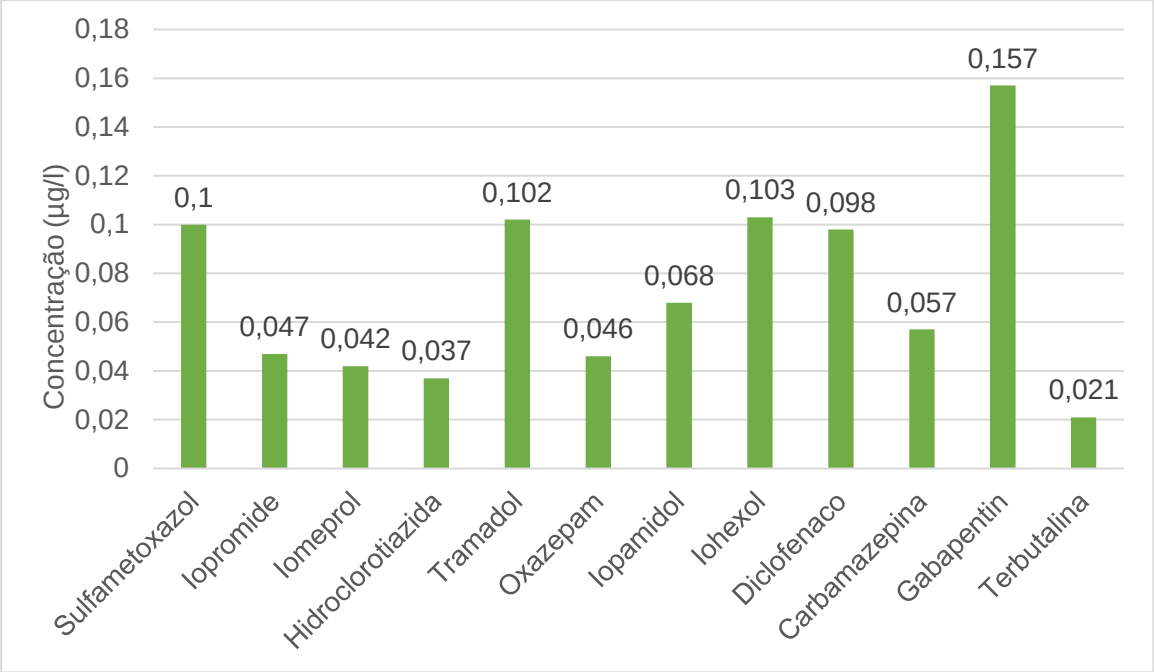


Gráfico 9 – Resultados obtidos da concentração dos fármacos detetados na fonte de água, no dia 5 de abril de 2022, às 15h00 (aproximadamente).

Relativamente à pesquisa efetuada destes fármacos na água residual tratada, dos 54 fármacos averiguados foram detetados 30 dos mesmos. A maior parte dos fármacos detetados estavam presentes numa concentração baixa. No entanto, alguns dos compostos foram encontrados em concentrações relativamente altas, como a cafeína a 13,2 µg/l, tendo esta sido a substância encontrada com uma maior concentração, como indicado no gráfico 10.

Comparando os dois tipos de águas, foram identificados consideravelmente mais fármacos e em geral numa maior concentração presente na água residual estudada que na água bruta com destino a consumo, como era esperado, mesmo considerando o facto de que a água residual da ETAR amostrada é descarregada a montante do local de recolha da água para consumo. A diminuição significativa tanto do número de químicos como da concentração dos mesmos presentes na água bruta recolhida com destino a consumo humano, revelou que os mesmos são efetivamente removidos e/ou diminuídos em concentração na água recolhida para consumo de forma natural pelos vários processos físicos, químicos e/ou biológicos existentes ao longo da própria massa de água em estudo (rio Tâmega) e/ou através da filtração lenta que ocorre por baixo do leito aquático do rio no local de captação de água para consumo.

É de notar, no entanto, que nem todos os contaminantes encontrados na água bruta com destino a consumo humano foram encontrados na água residual amostrada (nomeadamente o iopamidol e o iohexol), ou foi identificada uma menor concentração na água

residual amostrada que na água bruta para consumo humano (nomeadamente o sulfametoxazol). Estes acontecimentos poderão ser justificados, por exemplo, pela existência da descarga de efluentes de várias outras ETAR da Penafiel Verde, E.M., assim como a possibilidade de outros pontos de poluição existirem a montante do local de recolha de água. O tipo de amostra efetuada (composta) também pode ter contribuído para a menor concentração existente destes químicos na água residual tratada.

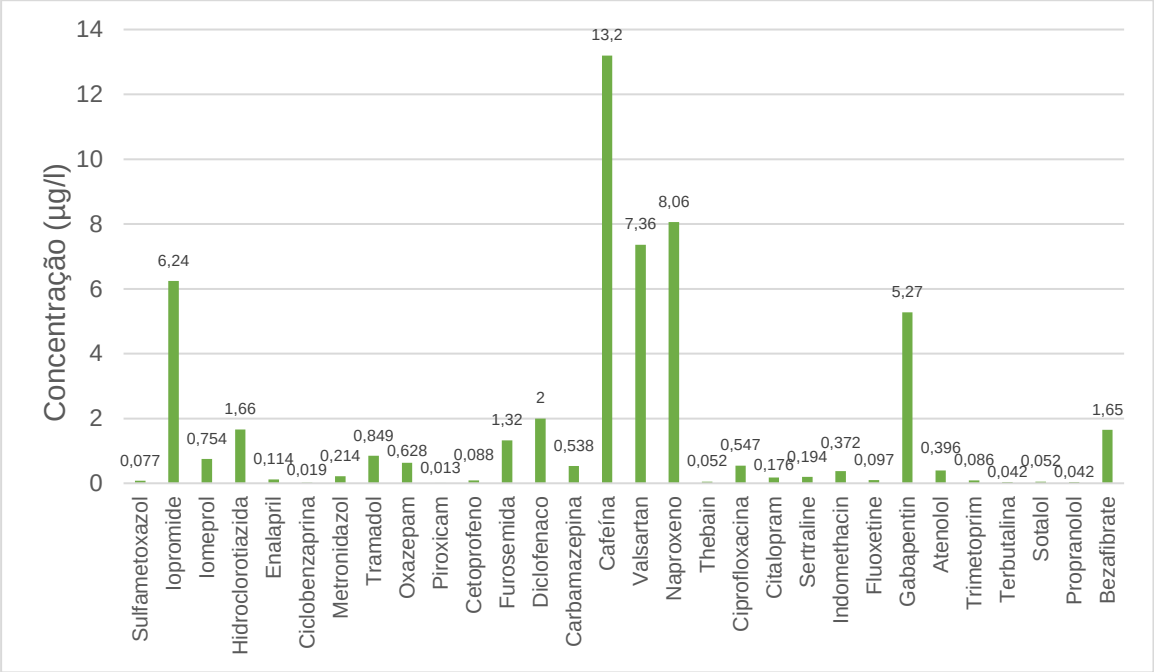


Gráfico 10 – Resultados obtidos da concentração dos fármacos detetados na água residual tratada, do dia 4 para 5 de abril de 2022, através da análise de uma amostra composta de 24 horas na ETAR de Termas de S. Vicente.

6.4. Conclusões e recomendações

Neste estudo foi averiguada a qualidade da água para consumo da Penafiel Verde, E.M. em parâmetros normalmente não considerados, nomeadamente da presença de diversos contaminantes emergentes nesta água, com o objetivo de ser obtida uma melhor imagem das propriedades da água consumida pelos penafidelenses assim como também garantida a sua segurança para consumo. De acordo com os resultados obtidos, pode ser concluído que a água para consumo fornecida pela Penafiel Verde, E.M. se encontrou em excelentes condições, dado que a avaliação da concentração dos vários contaminantes emergentes averiguados demonstrou que os mesmos não deveriam registrar valores preocupantes para a saúde humana de acordo com os valores paramétricos estabelecidos em legislação europeia, nomeadamente da Diretiva (UE) 2020/2184 do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2020.

Realça-se, no entanto, que os bons resultados obtidos são relativos a apenas uma análise efetuada num só dia. Assim, apesar de indicarem que a água consumida teve e poderá

continuar com uma boa qualidade relativamente aos parâmetros averiguados, o mesmo não é garantido, especialmente no futuro pela possível presença de novas fontes de poluição inesperadas. Desta forma, de acordo com os resultados obtidos e considerando o que foi estipulado anteriormente, é aconselhada a possibilidade de um acompanhamento periódico destes parâmetros, assim como também de outros contaminantes emergentes de potencial interesse, de forma a ser mantida a certeza da boa qualidade da água distribuída, e assim prevenidos possíveis problemas de saúde nos consumidores.

7. Controlo analítico de parâmetros de descarga de efluentes de ETAR

7.1. Introdução: Parâmetros de descarga de efluentes

Os vários perigos ligados à descarga de efluentes ineficazmente tratados leva à necessidade da averiguação dos vários parâmetros de potencial perigo nestas águas descarregadas, de forma a ser certificado o cumprimento legal da descarga de águas residuais e, dessa forma, garantido que as mesmas não irão impactar negativamente o ambiente e as populações humanas.

Tendo em vista este ponto, foi do interesse por parte da Penafiel Verde, E.M. a aquisição de equipamentos e reagentes capazes de averiguar a composição das águas residuais relativamente a vários parâmetros de descarga a ter em conta. Desta forma, a empresa poderá assim efetuar nas próprias ETAR a análise de águas residuais, obtendo assim resultados de forma rápida e independente da disponibilidade de laboratórios externos. Estas vantagens aplicar-se-iam para a possibilidade de ser elaborado um programa de controlo operacional das águas residuais tratadas, assim como a averiguação do funcionamento normal de órgãos e procedimentos adotados nas ETAR, permitindo ser obtido um melhor conhecimento das propriedades dos efluentes tratados para além das análises obrigatórias por lei que são efetuadas, tal como a garantia de um tratamento eficaz ter sido realizado.

Assim, foram determinados como objetivos deste projeto a elaboração de procedimentos para vários dos parâmetros de interesse relativos às águas residuais, nomeadamente do pH, do CQO (Carência Química de Oxigénio), do azoto total e do fósforo total, a familiarização com os equipamentos adquiridos e a inspeção dos materiais e condições presentes, de forma a permitir o futuro desenvolvimento de forma rápida e eficaz de várias análises de águas residuais e possível realização das mesmas por parte da Penafiel Verde, E.M.

7.2. Materiais e métodos

Como referido anteriormente, e de forma a puderem ser efetuadas várias análises a águas residuais, a Penafiel Verde, E.M. adquiriu vários equipamentos que permitiriam tais atividades. Entre estes equipamentos realça-se o Fotómetro Multiparâmetro com CQO para Análise de Águas e Águas Residuais HI83399 da Hanna Instruments®, que permite analisar amostras de águas residuais para os quatro parâmetros de grande interesse mencionados: pH, CQO, azoto total e fósforo total. Adicionalmente, vários outros equipamentos foram adquiridos devido à sua necessidade para realização da análise destes parâmetros, como o Reator Hanna Instruments® HI839800 (Termo-reactor de tubos de ensaio de 16mm) e o elétrodo de pH digital edge™ de enchimento da Hanna Instruments®. A figura 14 mostra o fotómetro e reator utilizados para a análise dos vários parâmetros referidos.



Figura 14 – Fotómetro (à esquerda) e reator (à direita) adquiridos para a análise de vários parâmetros relativos às águas residuais.

De forma a realizar estas análises, e tendo em conta o equipamento adquirido, foram também obtidos os vários kits de reagentes apropriados para os parâmetros de CQO, azoto total e fósforo total. Uma vez que tanto os equipamentos como os reagentes foram obtidos pelo mesmo fornecedor, os procedimentos para as várias análises efetuadas seguem as recomendações do mesmo, sendo as várias informações e protocolos relativos a estes métodos retirados do respetivo manual do fotómetro adquirido para as várias análises em questão, assim como das respetivas fichas de segurança e das várias fontes de informação adicionais fornecidas pela empresa.

A realização dos vários métodos foi efetuada de forma segura, através da utilização de luvas e bata. Uma vez que o reator de aquecimento atinge temperaturas altas, foi efetuada precaução na sua utilização, tendo também sido usada uma proteção de segurança para o mesmo. As cuvetes usadas ao longo do procedimento foram guardadas de forma a serem futuramente descartadas de forma segura através do contacto de uma empresa licenciada para tratamento dos reagentes contidos nas mesmas.

7.2.1. pH

A análise do pH foi efetuada recorrendo-se a um elétrodo de pH de enchimento com corpo em vidro. De forma a efetuar este procedimento, o conector do elétrodo de pH foi

inserido no fotómetro (dado que será este equipamento que revelará o valor de pH determinado), sendo o mesmo colocado no modo sonda. Após remoção da tampa de proteção do elétrodo, o bolbo e junção do mesmo foram enxaguados com água destilada, tendo sido depois mergulhados aproximadamente 3 cm na amostra cujo pH se quis averiguar, encontrando-se a mesma num copo de plástico. Durante a medição, a tampa do orifício de enchimento foi retirada, de forma a permitir um fluxo de eletrólito para o exterior. Assim que o valor se estabilizou o mesmo foi registado. Após a medição, o elétrodo foi de novo enxaguado com água destilada, sendo depois inserida a tampa de proteção no elétrodo para que o mesmo seja devidamente conservado. O elétrodo utilizado possui incorporado no mesmo um sensor de temperatura de forma a calcular automaticamente o valor correto de pH (Hanna Instruments, 2022a).

7.2.2. Carência química de oxigénio (CQO)

A carência química de oxigénio (CQO) é um método usado para detetar a quantidade de poluição orgânica presente numa amostra de água, medindo o equivalente à concentração de oxigénio necessária para oxidar a matéria orgânica presente numa amostra e que seria suscetível à oxidação por um oxidante químico forte. Apesar de a carência de oxigénio não ser especificamente um poluente, a depleção da concentração de oxigénio dissolvido na água poderá ter efeitos nefastos indiretos nos seres vivos, sendo manifestando desta forma a importância deste tipo de parâmetros nas águas residuais (Boyles, 1997).

Para este procedimento foi usado o conjunto de reagentes HI93754A-25 da Hanna Instruments®. Esta análise diz respeito à medição de CQO numa gama baixa de 0 a 150 mg/l de O_2, com recurso a uma cuvete de 16 mm. O método presente foi adaptado a partir do método aprovado USEPA 410.4 para a determinação de CQO em águas superficiais e águas residuais. Para a determinação de CQO por este procedimento foi utilizado o comprimento de onda de 420 nm. A resolução do método é de 1 mg/L e a precisão é de ±5 mg/l ou ±4% da leitura a 25 °C (o que for maior) (Hanna Instruments, 2022a).

De acordo com as informações do fornecedor, o presente método usa dicromato de potássio como oxidante de matéria orgânica. Este é um composto muito usado para análises de CQO, dado que o mesmo é um oxidante forte e de fácil uso, podendo ser conseguida uma digestão rápida da amostra, sendo também um composto estável à temperatura ambiente. Nesta reação de digestão a matéria orgânica presente na amostra é oxidada pelo dicromato em ácido sulfúrico, convertendo a maior parte do carbono presente em dióxido de carbono, e sendo dessa forma reduzidos os iões de dicromato (hexavalente) a iões de crómio trivalente. A determinação deste parâmetro é feita a partir da quantidade de crómio que foi reduzido. São também usados neste procedimento um composto de prata e um composto de mercúrio,

servindo o composto de prata como um catalisador e o composto de mercúrio como inibidor da interferência causada por iões de cloreto que poderão estar presentes (Boyles, 1997; Hanna Instruments, 2022b).

Relativamente ao procedimento propriamente dito, foram adicionado 2 ml de amostra a uma cuvete de reagente de CQO Gama Baixa (HI93754A-0), sendo depois a cuvete invertida várias vezes. Realça-se que a amostra usada deverá ser homogénea, caso contrário a mesma terá de ser homogeneizada. O branco correspondente foi preparado substituindo a amostra usada por água desionizada. Depois de invertidas, as cuvetes foram inseridas no reator pré-aquecido a 150 ºC, ficando no mesmo durante 2 horas. No final do período de digestão o reator foi desligado, tendo sido as cuvetes retiradas do mesmo quando a temperatura do reator se situava nos 120 ºC. De forma imediata, as cuvetes foram invertidas várias vezes sendo depois colocadas numa prateleira de arrefecimento até terem atingido a temperatura ambiente. O resultado foi depois obtido utilizando o método CQO GB (16) do fotómetro adquirido, tendo as cuvetes sido inseridas no fotómetro com o auxílio do adaptador de cuvetes de 16 mm. Os resultados foram registados em mg/l de oxigénio (O_2) (Hanna Instruments, 2022a).

7.2.3. Azoto total (N)

O procedimento para medição do azoto total foi efetuado com recurso ao conjunto de reagentes HI93767B-50 da Hanna Instruments®. O procedimento usado diz respeito à medição de azoto total numa gama alta até 150 mg/L (de azoto total como N), com recurso a uma cuvete de 16 mm, sendo que o método proposto é uma adaptação do método do ácido cromotrópico. Neste método, todas as formas de azoto são convertidas em nitrato, sendo que esta última forma de azoto causará um tom amarelo na amostra ao reagir com os reagentes usados. É também utilizado metabissulfito de sódio nesta análise de forma a remover possíveis interferências. O comprimento de onda utilizado é de 420 nm. A resolução do método é de 1 mg/L e a precisão é de ±3 mg/l ou ±4% da leitura a 25 °C (o que for maior) (Hanna Instruments, 2022a; Hanna Instruments, 2022d).

Para realizar este procedimento, foi adicionada uma saqueta de persulfato de potássio (PERSULFATE/N) numa cuvete de digestão de Reagente de Azoto Total Gama Alta (HI93767B-B), tendo sido de seguida acrescentados 0,5 ml de amostra à cuvete. Após estas adições, a cuvete foi agitada vigorosamente durante cerca de 30 segundos e prontamente inserida no reator pré-aquecido a 105 ºC, permanecendo a cuvete no mesmo durante 30 minutos. No final do período de digestão, a cuvete foi retirada para uma prateleira de arrefecimento, mantida na mesma até ter atingido a temperatura ambiente. De seguida foi acrescentada uma saqueta de metabissulfito de sódio (BISULFITE/N) à cuvete preparada,

tendo a mesma sido agitada cuidadosamente durante cerca de 15 segundos. Depois de aguardados 3 minutos, foi adicionada uma saqueta de Reagente de Azoto Total (HI93767-0), tendo-se seguido de novo uma agitação cuidadosa durante cerca de 15 segundos. Após 2 minutos, foram adicionados 2 ml da cuvete de digestão preparada durante este procedimento para uma cuvete de reação de Azoto Total Gama Alta (HI93766V-0HR). Após este passo, a cuvete foi invertida 10 vezes e foram aguardados 5 minutos. O branco foi preparado de forma similar, sendo substituída apenas a amostra usada por água destilada. O resultado foi obtido usando o método Azoto Total GA (16) do referido fotómetro, tendo o mesmo sido registado em mg/l de azoto (N) e as cuvetes sido inseridas no fotómetro com o auxílio do adaptador de cuvetes de 16 mm (Hanna Instruments, 2022a).

7.2.4. Fósforo total (P)

O procedimento para determinação do fósforo total foi efetuado com o conjunto de reagentes HI93763B-50 da Hanna Instruments®. O procedimento usado diz respeito à medição de fósforo total numa gama alta de 0 a 32,6 mg/L (de fósforo total como P), com recurso a uma cuvete de 16 mm, sendo o método proposto adaptado a partir de “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition, 4500-P C” (método do ácido vanadomolibdofosfórico). Ao ser aplicado este método as várias formas orgânicas e inorgânicas condensadas de fosfato presentes na amostra são convertidas para ortofosfato, sendo depois ocorrida uma reação entre este último composto e os reagentes usados que se traduz no aparecimento de um tom amarelo na amostra. O comprimento de onda utilizado é de 420 nm. A resolução do método é de 0,1 mg/L e a precisão é de ±0,5 mg/l ou ±5% da leitura a 25 °C (o que for maior) (Hanna Instruments, 2022a; Hanna Instruments, 2022c).

De forma a realizar este procedimento foram adicionados 5 ml de amostra para uma cuvete de Reagente de Fósforo (HI93758V-OHR), seguido de adição de uma saqueta de persulfato de potássio (PERSULFATE/P), agitando cuidadosamente a cuvete no final desta etapa até o pó se dissolver completamente. Após este passo, a cuvete foi colocada no reator (pré-aquecido) a 150 ºC durante um período de 30 minutos. Após o período de digestão, a cuvete foi retirada do reator de forma a atingir a temperatura ambiente. Seguiu-se a adição de 2 ml de solução de hidróxido de sódio 1,54 N (HI93758C-0) e a inversão várias vezes da cuvete. Após o passo anterior, foram inseridos 0,5 ml de Reagente Fósforo Total GA B (HI93763B-0), invertendo de novo várias vezes para ocorrer a mistura. Por fim, após um tempo de espera de 7 minutos, o resultado foi averiguado ao ser selecionado o método Fósforo Total GA (16), sendo as cuvetes colocadas no fotómetro com o auxílio de um adaptador de cuvetes de 16 mm e o resultado registado em mg/l de fósforo (P). O branco foi executado da mesma

forma, substituindo apenas a amostra usada por água desionizada (Hanna Instruments, 2022a).

7.3. Resultados e discussão: Exemplo real

De forma a exemplificar os procedimentos elaborados para as análises referidas de águas residuais, são aqui apresentados os resultados das análises realizadas no dia 29/04/2022 na ETAR de Termas de S. Vicente, relativas a uma amostra pontual recolhida às 9h30 do dia referido ao efluente tratado pronto a ser descartado. Apesar de estas análises não possuírem VLE para comparação (dado que as licenças de descarga de águas residuais da Penafiel Verde, E.M. referem apenas amostras compostas), este trata-se de um bom exercício para aplicação dos procedimentos desenvolvidos, sendo que a análise de amostras pontuais também poderá ser de interesse futuro ao serem estudadas as diferenças dos valores de certos parâmetros em momentos específicos.

7.3.1. pH

Depois de efetuada a limpeza e calibração do elétrodo de pH (como indicado no manual do fotómetro adquirido), o valor deste parâmetro foi averiguado. O pH registado foi de 7,54, como registado na figura 15.



Figura 15 – Resultado do pH da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022).

7.3.2. Carência química de oxigénio (CQO)

Para a análise de CQO, cujo procedimento foi iniciado em primeiro lugar dado o longo tempo de digestão necessário, foi registado o valor de 64 mg/l de O_2, como ilustrado na figura 16.



Figura 16 – Resultado da análise de CQO da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022).

7.3.3. Azoto total (N)

Apesar de terem sido adquiridos reagentes para a elaboração do procedimento de gama baixa de azoto total (HI93767A-50), foi elaborado e realizado o procedimento com os reagentes para determinação de azoto total – gama alta (HI93767B-50), uma vez que os materiais adquiridos para a determinação de gama baixa não se encontravam em boas condições (uma inspeção visual revelou a existência de resíduos não esperados nos reagentes das cuvetes obtidas) e ao ser usado o conjunto de reagentes de gama alta será também possível determinar valores mais altos, não possíveis para o conjunto de reagentes de gama baixa. Observa-se, no entanto, que o procedimento usado para ambas as gamas é o mesmo. Dadas as observações registadas, foi determinado que o valor de azoto total da amostra foi de 27 mg/l (N), como presente na figura 17.



Figura 17 – Resultado da análise de azoto total da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022).

7.3.4. Fósforo total (P)

Também a análise de fósforo total foi realizada, de forma a completar todas as análises relevantes para as propriedades das águas residuais que poderiam ser averiguadas com o fotómetro adquirido. Foi registado um valor de fósforo total presente na amostra selecionada de 3,3 mg/l (P), como ilustra a figura 18.



Figura 18 – Resultado da análise de fósforo total da amostra pontual de água residual tratada (recolhida e determinada no dia 29/04/2022).

7.4. Conclusões e recomendações

Como proposto pela empresa, foram desenvolvidos os procedimentos a realizar para a análise de vários parâmetros de interesse para as águas residuais, nomeadamente para o pH, a CQO, o azoto total e o fósforo total. Estes procedimentos foram postos em prática e comprovados com sucesso, tendo assim também os vários equipamentos, materiais e condições sido atestados e colocados de forma operacional, como esperado que fosse desenvolvido.

Dado o trabalho desenvolvido, é desta forma proposta a futura implementação de um programa de controlo operacional para a qualidade das águas residuais tratadas das várias ETAR da Penafiel Verde, E.M., de forma a serem acompanhadas de forma mais regular as propriedades do efluente descartado, garantindo assim também que o tratamento do mesmo se encontra como esperado, evitando futuros possíveis problemas ecológicos e legais. É também recomendada a possibilidade de aquisição de equipamentos e reagentes para realização das análises de CBO_5 e de sólidos suspensos totais, de forma a cobrir todos os parâmetros requisitados de pesquisa obrigatória para as ETAR em causa, complementando o controlo operacional que seria posto em prática.

Referências bibliográficas

Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas. (2012). FT-QI-07 – Oxidabilidade: Ficha técnica. Retirado de https://www.apda.pt/site/upload/FT-QI-07-Oxidabilidade_23102012.pdf

Boyles, W. (1997). The Science of Chemical Oxygen Demand: Technical Information Series, Booklet No. 9. Loveland, CO, USA: Hach Company.

Careghini, A., Mastorgio, A. F., Saponaro, S., & Sezenna, E. (2015). Bisphenol A, nonylphenols, benzophenones, and benzotriazoles in soils, groundwater, surface water, sediments, and food: a review. *Environmental science and pollution research international, 22*(8), 5711–5741. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3974-5

Centers for Disease Control and Prevention. (2022, 10 de janeiro). *Free Chlorine Testing*. Retirado de https://www.cdc.gov/healthywater/global/household-water-treatment/chlorine-residual-testing.html

Chaves, R. S., Guerreiro, C. S., Cardoso, V. V., Benoliel, M. J., & Santos, M. M. (2019). Hazard and mode of action of disinfection by-products (DBPs) in water for human consumption: Evidences and research priorities. *Comparative biochemistry and physiology. Toxicology & pharmacology : CBP, 223*, 53–61. https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.05.015

Cimmino, I., Fiory, F., Perruolo, G., Miele, C., Beguinot, F., Formisano, P., & Oriente, F. (2020). Potential Mechanisms of Bisphenol A (BPA) Contributing to Human Disease. *International journal of molecular sciences, 21*(16), 5761. https://doi.org/10.3390/ijms21165761

Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. *Diário da República n.º 235/2017 - I Série*. Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho. *Diário da República n.º 139/1997 - I Série A.* Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto. *Diário da República n.º 176/1998 - I Série A.* Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto. *Diário da República n.º 164/2007 - I Série.* Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Diretiva (UE) 2020/2184 de 16 de dezembro de 2020. *Jornal Oficial da União Europeia L 435/1.* Parlamento Europeu e Conselho. União Europeia.

Dulio, V., van Bavel, B., Brorström-Lundén, E., Harmsen, J., Hollender, J., Schlabach, M., Slobodnik, J., Thomas, K., & Koschorreck, J. (2018). Emerging pollutants in the EU: 10 years of NORMAN in support of environmental policies and regulations. *Environmental sciences Europe, 30*(1), 5. https://doi.org/10.1186/s12302-018-0135-3

Evans, S., Campbell, C., & Naidenko, O. V. (2020). Analysis of Cumulative Cancer Risk Associated with Disinfection Byproducts in United States Drinking Water. *International journal of environmental research and public health, 17*(6), 2149. https://doi.org/10.3390/ijerph17062149

Gao, H., Yang, B. J., Li, N., Feng, L. M., Shi, X. Y., Zhao, W. H., & Liu, S. J. (2015). Bisphenol A and hormone-associated cancers: current progress and perspectives. *Medicine, 94*(1), e211. https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000211

Gauthier, V., Gérard, B., Portal, J. M., Block, J. C., & Gatel, D. (1999). Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system. *Water Research, 33*(4), 1014-1026. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00300-5

Ginige, M. P., Wylie, J., & Plumb, J. (2011). Influence of biofilms on iron and manganese deposition in drinking water distribution systems. *Biofouling, 27*(2), 151–163. https://doi.org/10.1080/08927014.2010.547576

Han, B., Chen, R., Shi, B., Xu, W., & Zhuang, Y. (2018). Practical evaluation of inorganic contaminant presence in a drinking water distribution system after hydraulic disturbance. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 67*(1), 12-21. https://doi.org/10.2166/aqua.2017.074

Hanna Instruments. (2022a). HI83399, Fotómetro multiparâmetro com CQO para análise de águas e águas residuais. Manual de instruções. Woonsocket, Rhode Island, 02895, USA: Autor.

Hanna Instruments. (2022b). *HI93754A-25 COD Low Range Reagent Vials, EPA Method (25 tests)*. Retirado de https://www.hannainst.com/hi93754a-25-cod-low-range-reagent-vials-epa-method-25-tests.html

Hanna Instruments. (2022c). *HI93763B-50 Total Phosphorus High Range Reagents*. Retirado de https://www.hannainst.com/total-phosphorus-high-range-reagents-hi93763b-50.html

Hanna Instruments. (2022d). *HI93767B-50 Total Nitrogen High Range Reagents (50 tests)*. Retirado de https://www.hannainst.com/hi93767b-50-total-nitrogen-high-range-reagents-50-tests.html

Henze, M., & Comeau, Y. (2008). Wastewater characterization. In M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama & D. Brdjanovic. (Eds.). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design* (pp. 33-52). London, UK: IWA Publishing.

IRAR. (2005). Recomendação IRAR n.º 03/2005, Controlo do ferro e do manganês na água para consumo humano: Recomendação. Retirado de https://www.ersar.pt/_layouts/mpp/file-download.aspx?fileId=18361

IRAR. (2007). Recomendação IRAR n.º 05/2007, Desinfeção da água destinada ao consumo humano: Recomendação. Retirado de https://www.arsnorte.min-saude.pt/wp-content/uploads/sites/3/2018/01/Agua_Consumo_Recomendacao_IRAR.pdf

Khan, N. G., Correia, J., Adiga, D., Rai, P. S., Dsouza, H. S., Chakrabarty, S., & Kabekkodu, S. P. (2021). A comprehensive review on the carcinogenic potential of bisphenol A: clues and evidence. *Environmental science and pollution research international, 28*(16), 19643–19663. https://doi.org/10.1007/s11356-021-13071-w

Kraft, A. (2008). Electrochemical Water Disinfection: A Short Review. *Platinum Metals Review, 52*, 177-185. https://doi.org/10.1595/147106708X329273.

Lei, M., Zhang, L., Lei, J., Zong, L., Li, J., Wu, Z., & Wang, Z. (2015). Overview of Emerging Contaminants and Associated Human Health Effects. *BioMed research international, 2015*, 404796. https://doi.org/10.1155/2015/404796

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Abragão

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Boelhe

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Canelas

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Castelões

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Rio de Moinhos

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Rio Mau

Licença de Utilização dos Recursos Hídricos para Rejeição de Água Residuais da ETAR de Termas de S. Vicente

Manuel, J. (2014). Nutrient pollution: a persistent threat to waterways. *Environmental health perspectives*, *122*(11), A304–A309. https://doi.org/10.1289/ehp.122-A304

McNeill, L. S., & Edwards, M. (2001). Iron pipe corrosion in distribution systems. *Journal-American Water Works Association, 93*(7), 88-100. https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2001.tb09246.x

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Abragão

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Boelhe

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Canelas

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Castelões

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Rio de Moinhos

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Rio Mau

Memória descritiva e justificativa da ETAR de Termas de S. Vicente

Montes, R., Méndez, S., Carro, N., Cobas, J., Alves, N., Neuparth, T., Santos, M. M., Quintana, J. B., & Rodil, R. (2022). Screening of contaminants of emerging concern in surface water and wastewater effluents, assisted by the persistency-mobility-toxicity criteria. *Molecules, 27*(12), 3915. https://doi.org/10.3390/molecules27123915

National Institute of Environmental Health Sciences. (2021, 26 de novembro). *Bisphenol A (BPA)*. Retirado de https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/sya-bpa/index.cfm

National Toxicology Program. (2018). *Report on Carcinogens Monograph on Haloacetic Acids Found as Water Disinfection By-Products: RoC Monograph 12.* Research Triangle Park, NC, USA: National Toxicology Program

Parvez, S., Ashby, J. L., Kimura, S. Y., & Richardson, S. D. (2019). Exposure Characterization of Haloacetic Acids in Humans for Exposure and Risk Assessment Applications: An Exploratory Study. *International journal of environmental research and public health, 16*(3), 471. https://doi.org/10.3390/ijerph16030471

Penafiel Verde. (2021). *Quem somos*. Retirado de https://www.penafielverde.pt/quem-somos/

Pereira, A., Silva, L., Laranjeiro, C., Lino, C., & Pena, A. (2020). Selected Pharmaceuticals in Different Aquatic Compartments: Part I-Source, Fate and Occurrence. *Molecules, 25*(5), 1026. https://doi.org/10.3390/molecules25051026

Ribeiro, C., Ribeiro, A. R., & Tiritan, M. E. (2016). Priority Substances and Emerging Organic Pollutants in Portuguese Aquatic Environment: A Review. *Reviews of environmental contamination and toxicology, 238*, 1–44. https://doi.org/10.1007/398_2015_5006

Rodrigo, C., Lopes, J. L., Saúde, M., Mendes, R., Casimiro, R. (2007). *Controlo operacional em sistemas públicos de abastecimento de água*. Lisboa, Portugal: Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

Rubulis, J., Verberk, J., Vreeburg, J., Gruškevica, K., & Juhna, T. (2008). Chemical and microbial composition of loose deposits in drinking water distribution systems. In *Proceedings of the, 7th International Conference on Environmental Engineering* (pp. 22-23). Vilnius: Lithuania.

Sain, A. E., & Dietrich, A. M. (2015). Rethinking aesthetic guidelines for manganese and iron in drinking water. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, 64*(7), 775-782. https://doi.org/10.2166/aqua.2014.091

Simdouro. (2017). *ETAR Paço de Sousa*. Retirado de https://www.simdouro.pt/dados.php?ref=etar-pacodesousa

Sly, L. I., Hodgkinson, M. C., & Arunpairojana, V. (1990). Deposition of manganese in a drinking water distribution system. *Applied and environmental microbiology, 56*(3), 628–639. https://doi.org/10.1128/aem.56.3.628-639.1990

United States Environmental Protection Agency. (1999). Wastewater Technology Fact Sheet, Sequencing Batch Reactors: Ficha técnica. Retirado de https://www3.epa.gov/npdes/pubs/sbr_new.pdf

United States Environmental Protection Agency. (2022a, 25 de agosto). *Harmful Algal Blooms*. Retirado de https://www.epa.gov/nutrientpollution/harmful-algal-blooms

United States Environmental Protection Agency. (2022b, 16 de março). *Our Current Understanding of the Human Health and Environmental Risks of PFAS*. EPA. Retirado de https://www.epa.gov/pfas/our-current-understanding-human-health-and-environmental-risks-pfas

United States Environmental Protection Agency. (2022c, 28 de abril). *PFAS Explained*. EPA. Retirado de https://www.epa.gov/pfas/pfas-explained

Villanueva, C. M., Kogevinas, M., Cordier, S., Templeton, M. R., Vermeulen, R., Nuckols, J. R., Nieuwenhuijsen, M. J., & Levallois, P. (2014). Assessing exposure and health consequences of chemicals in drinking water: current state of knowledge and research needs. *Environmental health perspectives, 122*(3), 213–221. https://doi.org/10.1289/ehp.1206229

Anexo I. Sugestões para elaboração do Programa de Controlo Operacional (PCO) para a água para consumo da Penafiel Verde, E.M.

O Programa de Controlo da Qualidade da Água para consumo humano (PCQA) é um plano elaborado pelas entidades gestoras de abastecimento público de água para consumo que estabelece os vários parâmetros pesquisados nesta água, tal como a sua periodicidade. Este plano, apesar de elaborado pelas entidades gestoras, precisa de ser aprovado pela entidade competente, sendo esta a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR). A implementação do PCQA assegura a qualidade da água distribuída para consumo humano tendo em conta a legislação em vigor, sendo que esta estabelece os vários parâmetros a serem pesquisados, os seus valores paramétricos e a periodicidade de pesquisa presentes no PCQA.

No entanto, de forma a ser garantida a boa qualidade e segurança da água para consumo humano, um controlo mais completo é recomendado para além do que está planificado pelo PCQA. Neste âmbito, é proposto que cada entidade gestora desenvolva um Programa de Controlo Operacional (PCO).

Define-se como controlo operacional “o conjunto de observações, avaliações analíticas e ações que contribuem para a obtenção de uma água de qualidade adequada para consumo humano” (Rodrigo et al., 2007). Este controlo operacional é conseguido sendo mantido sob observação todo o sistema de água para consumo, incluindo a captação, tratamento, adução, elevação, armazenamento e distribuição, de forma continua e atenta, sendo dessa forma possível a deteção em tempo útil de alguma alteração na qualidade da água.

Assim, é proposta a elaboração de um PCO da água para consumo fornecida pela Penafiel Verde, E.M., de forma a ser colocado em prática um controlo operacional que permita comprovar a boa qualidade da água distribuída para consumo e o cumprimento dos valores paramétricos fixados por lei. Um controlo operacional eficaz poderá ajudar a detetar mudanças na qualidade da água antes da ocorrência de problemas associados à mesma, prevenindo situações de risco e diminuindo a ocorrência de incumprimentos aos valores paramétricos, ajudado também na correção destas mudanças.

Ao contrário do PCQA, o PCO é da exclusiva responsabilidade das entidades gestoras, e aborda todo o conhecimento relativo ao abastecimento de água para consumo, tal como

descrito anteriormente. O PCO é bastante específico para cada entidade gestora, sendo adaptado às várias operações, condições e infraestruturas existentes e próprias dessa mesma entidade.

Com o desenvolvimento de um PCO seria pretendido manter a boa qualidade da água para consumo, cumprir com a legislação e diminuir as reclamações dos consumidores, tornando-se este plano uma ferramenta de grande importância para todas as entidades gestoras.

Desta forma, este documento em anexo foi elaborado de forma a servir como um guia, guia este que terá como objetivo contribuir para o desenvolvimento de um PCO adequado por parte da Empresa Municipal Penafiel Verde, contribuindo assim para o objetivo fundamental desta entidade gestora: o fornecimento de um bom serviço e da boa qualidade da água para consumo.

Todo este documento foi baseado no Guia Técnico 10 – “Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água” do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e ajustado e complementado tendo em conta a realidade da empresa, Penafiel Verde, E.M., a quem este guia se direciona. As várias recomendações aqui contidas foram dessa forma inspiradas a partir do mesmo, esperando que as mesmas possam ser implementadas no futuro.

Projetos e ficheiros a acrescentar no PCO

O controlo operacional passa, em primeiro lugar, pelo levantamento de informações e reconhecimento de todo o sistema de tratamento e transporte de água, tal como as operações e projetos concluídos e em andamento relativamente a este sistema. Várias ações já são atualmente efetuadas, mas ainda não se encontram ordenadas ou simplesmente reconhecidas como parte do PCO.

Desta forma, descreve-se nesta parte os vários tópicos já desenvolvidos ou a ser atualmente desenvolvidos pela Penafiel Verde, E.M. que devem ser integrados no PCO, de forma a serem atingidos os objetivos esperados para o mesmo.

Descrição do sistema de abastecimento

Como referido anteriormente, a descrição de todo o sistema de abastecimento será essencial, sendo este o primeiro passo no desenvolvimento do PCO. Desta forma, é importante que seja integrado no mesmo:

- Plantas e descrição geral de todos os componentes que fazem parte do sistema de abastecimento de água. Esta caracterização inclui: captações e entradas de água, ETA, condutas adutoras, estações elevatórias, reservatórios, pontos de recloragem e redes de distribuição, tal como qualquer outro componente que poderá ser de interesse;

- Descrição do esquema de tratamento da água e dos vários produtos químicos e métodos usados;

- Devem também ser descritos quais os parâmetros que são atualmente analisados e as operações efetuadas ao longo de todo o sistema.

Histórico da qualidade da água

Os vários resultados das análises efetuadas na água para consumo são dos dados mais importantes relativamente à elaboração do PCO, não só porque atestam a boa qualidade da água que está a ser entregue aos consumidores, mas também por se enquadrarem como uma grande fonte de informações que poderão ser de interesse para estudo.

O histórico da qualidade da água bruta, tratada e distribuída permitirá identificar problemas que se encontrem na fonte de água, no tratamento e no sistema de distribuição, correspondentemente. Desta forma, é possível serem encontrados pontos problemáticos, serem estabelecidos planos de monitorização que incluam os locais e parâmetros mais críticos (tal como os procedimentos de amostragem e de análise e a sua frequência) e a implementação de limites de alerta. Desta forma é aconselhado:

- Integrar no PCO todos os resultados obtidos de análises efetuadas nas águas brutas, tratadas e distribuídas, se possível. Dado, no entanto, que as mesmas já estariam incluídas nos documentos do PCQA, recomenda-se que, pelo menos, um resumo das mesmas seja incorporado no PCO, tal como a possível caracterização dessas análises e do PCQA.

- Desenvolver e incorporar nesta parte a análise e discussão do histórico dos vários parâmetros da qualidade da água. Como descrito anteriormente, a análise do histórico obtido é de importância fundamental, sendo a mesma aqui inserida. Será esperado que as conclusões retiradas da análise de dados se reflitam em ações que sejam implementadas na prática, sendo implementado um plano de monitorização de algum/alguns parâmetro(s) em locais e/ou períodos específicos, assim como possíveis correções em alguma parte do sistema, se necessário.

- Implementar limites de alerta para cada parâmetro, através da análise dos valores obtidos anteriormente e dos valores paramétricos estabelecidos na legislação em vigor, tal como a adoção de procedimentos escritos a adotar nas situações de alerta consideradas, que especificam as responsabilidades de cada interveniente e as medidas corretivas e de monitorização a adotar. O objetivo será de detetar e corrigir precocemente alguma alteração na qualidade da água antes de ocorrer um incumprimento de algum valor paramétrico.

Manutenção e limpeza de reservatórios

A boa manutenção dos reservatórios é um passo essencial para garantir que a qualidade da água não se deteriore depois de a mesma ter sido eficazmente tratada na ETA. Estes órgãos desempenham uma função importante ao armazenarem a água que será distribuída para os consumidores, sendo importante a manutenção da integridade estrutural e sanitária destas infraestruturas. Assim, é previsto que sejam efetuadas as seguintes operações:

- Implementação de um plano de limpeza e higienização regular dos vários reservatórios existentes, de acordo com a necessidade de cada reservatório (podendo ser anual, por exemplo). Devem ser usados produtos adequados (para entrar em contacto com água para consumo), equipamentos específicos e pessoal formado para este tipo de operações. Idealmente, a higienização dos reservatórios será efetuada por uma empresa que seja certificada para este serviço, tal como já é feito atualmente. Caso a própria entidade gestora decida efetuar esta operação, deve ser desenvolvido um procedimento adequado. A limpeza de um reservatório deve ser feita com um mínimo de desperdícios de água e nas falhas de abastecimento e, no caso de limpeza de vários reservatórios, de montante para jusante para evitar contaminações.

- Antes de ser efetuada a própria higienização de um reservatório, a entidade gestora deve conferir a integridade estrutural do mesmo, sendo a reparação de qualquer problema encontrado a prioridade, e só depois deve ser dado lugar à higienização do reservatório.

Perdas de água

A perda de água ao longo do sistema de distribuição trata-se de um grande problema das entidades gestoras de abastecimento de água, ao serem desperdiçadas grandes quantidades da mesma que se encontrariam em boas condições para serem usadas pela população. Neste sentido, a Penafiel Verde, E.M. está a desenvolver várias ações no sentido

de reduzir as perdas nos sistemas de distribuição e adução de água no concelho de Penafiel, algo bastante encorajado e tido como uma grande mais-valia.

- Dado que este processo de diminuição de perdas de água já se encontra em andamento, o mesmo poderá ser incorporado no PCO. Neste tópico serão então descritos os processos em andamento e todas as informações relacionadas ao mesmo, as metas a atingir e os resultados obtidos, entre outras informações relevantes.

Reclamações dos consumidores

O número e tipo de reclamações por parte dos consumidores, relativo à qualidade e quantidade da água, fornecerá informações de grande importância ao se tratar da perceção real dos próprios consumidores à água fornecida para consumo, tal como de uma fonte valiosa de informação quanto a possíveis problemas na qualidade da água ainda não detetados pela entidade gestora e na deteção de pontos de controlo críticos do sistema.

- Desta forma, deve ser efetuado o registo de todas as reclamações recebidas pela entidade gestora de forma mais pormenorizada possível, englobando nos respetivos registos o(s) problema(s) manifestado(s) pelo consumidor, a avaliação feita, a resposta da entidade gestora e a finalização do processo (incluindo conclusões retiradas pela entidade gestora a serem melhoradas pela mesma).

- A elaboração de vários guias de procedimento para as várias reclamações mais comuns por parte dos consumidores seria também uma mais-valia, de forma a agilizar o processo, contribuir para uma melhoria mais significativa da qualidade da água e também de uma melhor perceção da entidade gestora por parte dos consumidores. Por exemplo, para uma reclamação por parte de um consumidor relativa a um sabor/cheiro a cloro demasiado intenso ou, de forma alternativa, de um sabor/cheiro a cloro completamente ausente, poderá ser implementado um procedimento semelhante ao seguinte:

    1) Identificação do cliente, ponto exato onde foi recolhida esta água (normalmente a residência do cliente), localidade e reservatório associado ao ponto onde a água foi recolhida, dia e hora do incidente, entre outras informações relevantes;

    2) Averiguação por parte da entidade gestora da presença de outras reclamações, consulta das análises efetuadas mais recentemente e dos sistemas de monitorização em contínuo, comunicação com os funcionários da empresa no terreno para obtenção de mais informações;

3) Análise da água na torneira do consumidor que reportou a queixa, sendo a mesma feita de forma mais rápida possível e no próprio local ao ser utilizado um fotómetro portátil capaz de medir o valor de cloro residual livre;

4) Se o valor se encontrar dentro de um limite aceitável, o cliente deve ser notificado da conformidade dos resultados com a legislação em vigor e da importância da presença de cloro na prevenção da existência de microrganismos patogénicos; se for identificado um valor que não esteja em conformidade com o esperado e recomendado, essa situação deve ser averiguada pela entidade gestora de forma aprofundada, com a finalidade de corrigir o problema identificado e prevenir qualquer problema de saúde pública;

5) Registar todas as ações efetuadas e informações obtidas, as conclusões retiradas e as recomendações a ser implementadas e a ter em conta no futuro.

Outros projetos e ficheiros

Outras informações também serão de interesse de serem incluídas no PCO, incluindo:

- Os manuais de funcionamento de todas as instalações e equipamentos;
- A identificação de possíveis fontes poluidoras, a sua localização e a caracterização da sua possível influência na qualidade da água.

Análise e acompanhamento de vários parâmetros recomendados e/ou complementares

Um programa de controlo operacional envolve o acompanhamento de alguns parâmetros da qualidade da água de forma mais regular e pormenorizada comparativamente ao PCQA, envolvendo também avaliações analíticas de vários parâmetros não incorporados no mesmo, permitindo ser obtida uma melhor noção da qualidade da água e garantindo dessa forma o seu uso e consumo seguros. A averiguação destes aspetos poderá ser feita em uma ou várias etapas, dependendo dos parâmetros em estudo: na origem de água, durante e após o tratamento de água (ETA e pontos de recloragem) assim como também no sistema de adução e distribuição, incluindo reservatórios.

Na fonte de água

A própria fonte de água é a primeira etapa em que a qualidade da água precisa de ser determina e assegurada, sendo essencial para garantir que os tratamentos subsequentes

para tornar a água bruta em água própria para consumo sejam de facto adequados e estejam preparados para as características da água captada, tal como para também determinar de forma precoce qualquer alteração anormal na qualidade da água. Assim, são recomendadas várias ações, incluindo:

- O acompanhamento de vários parâmetros na fonte de água, sendo os principais o pH, a turvação, a condutividade, o carbono orgânico total, a temperatura, o caudal captado e os níveis de água da captação. Outros parâmetros também poderão ser acompanhados com regularidade, como os parâmetros microbiológicos, o ferro, o manganês, a oxidabilidade, entre outros, sendo os mesmos selecionados de acordo com as características da qualidade da água e de possíveis riscos identificados. A monitorização poderá ser feita em tempo real, se possível, ou através de um plano exigente de amostragem específico para cada parâmetro, sendo o plano de monitorização depois ajustado progressivamente. É também aconselhado não só a averiguação destes parâmetros no local de captação, mas também, se possível, ao longo da coluna de água e, caso necessário, também em pontos a montante da captação e a jusante de possíveis fontes de poluição.

- A monitorização da fonte da água deverá também ser feita através de visitas ao local. A averiguação da inexistência de qualquer perturbação na origem de água, assim como a determinação do estado trófico dessa massa de água, são fatores de grande importância que deverão ser efetuados periodicamente. Para o estudo do estado trófico da água, é aconselhado o estudo de parâmetros como o oxigénio dissolvido, clorofila a, fitoplâncton, azoto total e fósforo total, assim como também o número de cianobactérias e a presença de microcistina – LR total. A monitorização e a amostragem devem ser realizadas sempre no mesmo local, junto à captação de água. A amostragem deve ser feita em quatro tomas: superfície, disco de Secchi, 3 x disco de Secchi e tomada de água. De forma inicial, deve ser efetuada uma amostragem mensal durante os meses de outubro a março, e quinzenal nos meses de abril a setembro, sendo depois a frequência ajustada às condições da massa de água e do histórico obtido.

No tratamento de água (ETA e pontos de recloragem)

Será nas Estações de Tratamento de Água (ETA) que um acompanhamento mais rigoroso deverá ser esperado, dada a importância fundamental do tratamento da água e, por vezes, da complexidade dos tratamentos efetuados. No caso concreto da Penafiel Verde, E.M., a ETA existente efetua apenas o processo de desinfeção da água por cloragem (sendo utilizado hipoclorito de sódio), não sendo necessários outros tratamentos para garantir a

segurança da água captada para consumo. Acrescenta-se que é também efetuado um tratamento de recloragem da água em vários reservatórios. Este processo de cloragem/recloragem é essencial para manter a boa qualidade microbiológica da água, sendo que o mesmo precisa também de manutenção para se manter operacional.

- A preservação de um valor adequado de cloro residual livre ao longo do sistema de adução e distribuição é dos fatores mais essências para garantir a qualidade da água distribuída para consumo humano. É, dessa forma, necessário que os vários pontos ao longo da rede mantenham o nível seguro de cloro residual livre para prevenir problemas microbiológicos sem, no entanto, comprometer as propriedades organoléticas da água ou a presença de níveis perigosos de subprodutos de desinfeção (como os trihalometanos, por exemplo). Esta desinfeção é efetuada inicialmente na ETA, ocorrendo depois uma recloragem ao longo do sistema de adução e distribuição em vários reservatórios existentes no concelho de Penafiel. Em todos estes locais de cloragem/recloragem deve ser estabelecido um valor de cloro residual livre adequado à situação específica de cada local, variando normalmente esse valor entre 0,6 e 0,8 mg/L de cloro residual livre dependendo do tempo de permanência da água no reservatório, da extensão da rede e do desinfetante usado. Em estados sanitários pouco satisfatórios dos reservatórios, bem como na idade e estado de conservação mais avançados das redes públicas de abastecimento, o valor de cloro residual livre poderá situar-se nos valores de 1 a 1,2 mg/L. O valor estabelecido em cada ponto de cloragem deve garantir que cada consumidor fornecido pela rede pública de abastecimento tenha acesso a água com a concentração recomendada de cloro residual livre, de 0,2 a 0,6 mg/L, tal como livre de qualquer problema microbiológico. Realça-se também a importância do doseamento correto do desinfetante e de um tempo de contacto suficiente para a sua atuação, parâmetros que a entidade gestora deve focar bastante atenção para garantir a eficácia do tratamento de desinfeção. Estes aspetos são bem controlados pela Penafiel Verde, E.M., dado que os vários pontos de adição de hipoclorito de sódio são controlados de forma automática em função de um valor de cloro residual livre pré-definido.

- É recomendada na ETA a medição do pH, do desinfetante residual livre (cloro residual livre) e da turvação. Estes parâmetros já são atualmente monitorizados em tempo real no sistema de telegestão da Penafiel Verde, E.M.

- Nos vários pontos de recloragem devem ser analisados os parâmetros pH, temperatura e cloro residual livre, idealmente pela instalação de instrumentação online

ou, alternativamente, pelo uso de medidores portáteis (devendo uma frequência de análise ser definida consoante as características do sistema e da qualidade da água).

- É aconselhável a realização de análises regulares de vários parâmetros de qualidade da água tratada na ETA, tal como nos vários pontos de recloragem e reservatórios. Estes parâmetros seriam: pH, cloro residual livre, bactérias coliformes, *E. coli*, número de colónias a 22 ºC e a 37 ºC, condutividade e turvação. É recomendado que estas análises sejam efetuadas com uma frequência mínima semanal, numa picagem que permita fazer esta recolha de água à saída da ETA/ponto de recloragem/reservatório. Outros parâmetros, como os subprodutos de desinfeção (trihalometanos, por exemplo), ferro, manganês, oxidabilidade, etc. poderão também ser de interesse de ser incluídos neste programa de controlo.

No sistema de adução e distribuição

Os sistemas de adução e distribuição de água, incluindo também reservatórios, são críticos para a manutenção da boa qualidade da água. Estes sistemas são constituídos por inúmeras infraestruturas que podem levar à degradação da qualidade da água, como as próprias condutas adutoras e as redes de distribuição, estações elevatórias, os vários reservatórios existentes, assim como ramais de ligação, juntas e acessórios. Todas estas existências podem contribuir para a deterioração dos vários parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água, levando à necessidade da averiguação de inúmeros parâmetros ao longo destes sistemas, garantindo a boa qualidade da água fornecida aos consumidores. Apresentam-se, desta forma, algumas sugestões relativas a este tópico:

- De acordo com o Guia Técnico 10 – “Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água”, no qual se baseou este guia, os maiores incumprimentos dos valores paramétricos devido a causas naturais estão associados ao pH, ao ferro, manganês, arsénio e aos parâmetros microbiológicos (devido a insuficiência ou ausência de desinfeção, ou seja, baixa concentração de cloro residual livre). Desta forma, o estudo destes parâmetros no âmbito da realidade da Penafiel Verde, E.M. é de grande interesse. A análise do seu histórico, o estudo da sua presença através de avaliações analíticas estratégicas e a implementação de planos de monitorização, prevenção e correção seriam ações bastante vantajosas. Informações adicionais relativas a alguns destes tópicos encontram-se desenvolvidas ao longo deste guia.

- Os parâmetros microbiológicos são dos problemas mais frequentes na rede de distribuição de água, sendo sobretudo devido a um reduzido teor em desinfetante

residual livre na água distribuída, e tratados por um reajuste do doseamento do desinfetante. Assim, tendo em consideração a importância de ser mantida uma concentração suficiente de desinfetante residual livre (cloro residual livre no concelho de Penafiel), é proposto que seja avaliado com regularidade o valor deste parâmetro, ao longo da rede de distribuição. De forma a determinar se o sistema se encontra nas condições ideias, é aconselhada a determinação do cloro residual livre em locais em que o seu valor tenderá a ser mais baixo, como nos extremos da rede e nas zonas de baixo consumo, mas também em pontos intermédios e ao longo de toda a rede de distribuição de água. Deverá para isso ser elaborado um plano de análises que inclui vários locais de interesse, tal como a periocidade de estudo deste parâmetro (idealmente uma vez por dia). A medição do cloro residual livre deve ser efetuada por equipamentos de medição portátil e kits analíticos fiáveis. Os equipamentos também devem ser calibrados regularmente e os prazos de validade dos reagentes devem ser tidos em conta.

- Dado o considerado no ponto anterior, deverá ser considerada a necessidade de instalação de novos pontos de recloragem se tal for considerado como necessário para manter um nível ideal de desinfetante residual livre ao longo da rede de distribuição, sendo as informações necessárias obtidas ao serem analisados os dados das análises efetuadas referidas no ponto anterior.

- A desinfeção da água é um processo fundamental para o seu consumo em segurança. No entanto, este processo leva à inevitável presença de subprodutos de desinfeção, sendo que os mesmos poderão ser nocivos à saúde humana. Desta forma, para além do estudo do teor de cloro residual livre na água tratada para consumo, é também importante a integração no controlo operacional do estudo da presença de vários subprodutos de desinfeção, como os trihalometanos, idealmente realizado ao longo da rede de distribuição em todo o tipo de situações e de forma periódica.

- De forma a ser assegurado que a qualidade da água se mantém ao longo do transporte da mesma até ao seu consumo, é importante que vários parâmetros sejam averiguados nos reservatórios existentes ao longo do sistema de adução e distribuição, como recomendado num ponto anterior (em conjunto com a ETA e os pontos de recloragem). Ainda relativamente aos reservatórios, aquando de ser realizada uma visita aos mesmos, deve ser sempre efetuada uma leitura dos caudais de saída para a rede de distribuição, caso não existam registadores automáticos, tal como uma inspeção dos sistemas indicadores de nível, da estrutura externa e da zona circundante.

- Apesar de pouco comuns, a presença de tubagens constituídas por policloreto de vinil (PVC) na rede de distribuição de água levanta preocupações da presença do seu monómero, cloreto de vinilo, na água para consumo ao ser libertado a partir destas tubagens para a água circulante. Desta forma, um estudo periódico da presença de cloreto de vinilo seria de interesse em várias zonas fornecidas por tubagens de PVC, de forma a garantir que o valor presente deste parâmetro não ultrapasse o respetivo valor paramétrico (mesmo que o cloreto de vinilo não esteja presente como pesquisa obrigatória no PCQA). Na aquisição de tubagens em PVC também deve ser tido em conta a migração máxima deste monómero para a água, de forma a não comprometer a segurança da mesma.

- Ao serem adquiridas tintas ou resinas para revestimento de tanques ou reservatórios, a composição química das mesmas deve ser pedida ao fornecedor e estudada pela entidade gestora. Se estiver presente epicloridrina na composição química do produto adquirido, deve ser verificado que a migração máxima deste composto para a água fica abaixo do limite do valor paramétrico estipulado. Se existir, em algum ponto do sistema, a presença de algum composto ou material que contenha epicloridrina, é recomendada uma avaliação da sua presença na água para consumo de forma periódica e estratégica.

Ações e operações recomendadas no âmbito do PCO

De forma a manter a qualidade da água para consumo no patamar necessário, várias ações e operações de monitorização, prevenção, manutenção preventiva e reparação são necessárias de ser efetuadas por todo o sistema de recolha, tratamento e transporte de água. Neste tópico, enumera-se desta forma vários destes parâmetros necessário de ter em conta.

Na fonte de água

A recolha de água trata-se do primeiro passo de todo o processo, sendo a etapa onde várias operações essenciais são efetuadas, como a bombagem inicial da água para a ETA. Desta forma, aconselha-se:

- A elaboração de um plano de manutenção e conservação das captações, que deve ser efetuado de forma a incluir os equipamentos e acessórios indispensáveis ao normal funcionamento do sistema. A inclusão de vários equipamentos de reserva e de reparação de falhas eletromecânicas é essencial, incluindo, por exemplo, um gerador de emergência, bombas e acessórios.

No tratamento de água (ETA e pontos de recloragem)

As ações efetuadas no tratamento da água para consumo, tanto na ETA como nos pontos de recloragem, devem ser tidas com importante consideração, dado que é nesta fase que seria realizada a correção dos parâmetros naturais da água para a mesma ser consumida em segurança. Realça-se, desta forma, várias indicações:

- Deve ser verificado o bom funcionamento dos vários sistemas de alarme existentes. Entre vários sistemas de alarme incluem-se, por exemplo, os que estão associados a falhas em diferentes bombas, aos vários valores altos e baixos de pH e cloro residual livre, aos valores altos de turvação e aos níveis de água nos reservatórios.

- Os vários equipamentos de monitorização e medida usados (pH, cloro residual livre, turvação, etc.) devem ser verificados e calibrados com regularidade. A sua calibração deve ser efetuada recorrendo-se à leitura de padrões ou por comparação com resultados laboratoriais fiáveis. Deve também ser considerado o prazo das várias soluções e reagentes usados.

- Deve ser implementado um plano de manutenção preventiva global. Este plano incluirá, por exemplo, manutenção elétrica, mecânica e instrumental (como a recalibração das bombas doseadoras), tal como a lavagem e desinfeção de tanques e reservatórios, entre outras atividades essências. Este plano deve ser bem delineado e realizado com uma periocidade regular, de pelo menos uma vez por ano.

- A implementação de um programa de limpeza regular para as várias instalações, órgãos e equipamentos deve ser elaborada, especialmente em zonas de armazenamento de reagentes e órgãos expostos ao ar livre.

- As instalações onde se efetua a cloragem/recloragem da água devem ser permanentemente monitorizadas, se possível, através da visita diária às instalações para verificar que os sistemas de desinfeção estão em normal funcionamento.

- Relativamente ao ponto anterior, os sistemas de doseamento de hipoclorito de sódio devem ser inspecionados com regularidade, tal como ser feita uma manutenção preventiva de todas as suas partes, de forma a certificar o seu bom funcionamento e evitar a paragem destes sistemas. Inclui-se, entre outros possíveis aspetos, a inspeção, manutenção, limpeza e possível substituição dos vários equipamentos associados ao sistema de desinfeção (bombas doseadoras, agitadores, válvulas, tubagens de aspiração e compressão, pontos de injeção, tubos, etc.), a garantia da existência de

peças de reserva e a inspeção do nível de solução de hipoclorito de sódio existente no recipiente de armazenamento, entre outros aspetos necessários.

- Relativamente aos vários produtos químicos/reagentes usados (por exemplo, o hipoclorito de sódio usado para desinfeção da água) deve ser assegurado que:

    1) Os mesmos são armazenados de forma adequada;

    2) Existe equipamentos e procedimentos de segurança adequados aos reagentes usados nos locais de risco de exposição;

    3) Seja implementado uma gestão de *stocks* de forma que não ocorra falta de reagentes;

    4) Se encontram de acordo com as normas europeias, sendo que a entidade gestora deve confirmar que a conformidade com as mesmas é respeitada pelos fornecedores/fabricantes;

    5) Seja efetuada uma inspeção dos produtos químicos adquiridos, de forma a comprovar a sua viabilidade para uso. Por exemplo, para o hipoclorito de sódio deve ser efetuado um teste visual que certifique o seu bom estado para utilização (solução amarelo-esverdeada, ligeiro odor a cloro, isento de depósitos visíveis e matérias em suspensão) e um teste de densidade (solução com concentração em cloro ativo até 15% (m/m) e densidade relativa entre 1,13 e 1,28 g/cm^3 a 20ºC);

    6) Ao serem recebidos pela entidade gestora, as várias embalagens/recipientes/autotanques onde os vários produtos são fornecidos devem ser investigados, tendo os mesmos de se encontrar em boas condições e serem adequados para o produto respetivo e o tratamento a que se destina.

No sistema de adução e distribuição

Como referido anteriormente, todas as infraestruturas que pertençam ao sistema de adução e distribuição poderão levar à degradação da qualidade da água, assim como à possível redução da quantidade da mesma e a problemas de abastecimento, sendo dessa forma necessária a boa manutenção destes sistemas e de todos os seus componentes. Relativamente a este tópico, consideram-se os seguintes aspetos:

- A maior parte das reclamações por parte dos consumidores são relativas aos parâmetros organoléticos da água, como a turvação, cheiro e sabor. Estas situações podem ser provocadas, por exemplo, por roturas em condutas e ramais, avarias em

órgãos hidromecânicos e corrosão de tubagens. Estes parâmetros podem, no entanto, ser melhorados através da realização de descargas de água nos hidrantes mais próximos do local onde foi identificada uma perturbação na qualidade da água. A descarga de água permitirá limpar a rede e livrar a mesma de sedimentos, sendo removida água estagnada e contaminantes que possam estar presentes na mesma. É recomendado que todas as descargas efetuadas sejam devidamente registadas, sendo descrito o motivo por que foram efetuadas, o registo das ações corretivas que foram implementadas e os resultados obtidos. Adicionalmente, ao serem processadas as reclamações dos consumidores, poderão ser identificados pontos críticos da rede, os quais poderão fazer parte de um plano regular de descargas. A implementação de um plano regular de descargas é de especial importância, sendo a sua implementação uma ótima ferramenta para melhorar a qualidade da água distribuída.

- A inspeção das condutas adutoras deve ser efetuada de forma regular, através da elaboração de um programa de acompanhamento. Estas condutas são fundamentais para a distribuição de água e não possuem normalmente uma reserva de equipamentos de substituição, sendo fundamental a averiguação do seu estado de funcionamento. A inspeção do seu estado de conservação poderá ser efetuada em troços ou secções a descoberto das condutas, nas caixas de válvulas de descarga, nas ventosas e sifões, etc.

- A instalação de novas condutas deve ser acompanhada por uma operação de higienização das mesmas e dos vários elementos a instalar. É recomendado que as mesmas sejam limpas e desinfetadas com uma solução concentrada de desinfetante. Aquando da sua instalação, uma operação de descarga de água deverá ser efetuada de forma a garantir a remoção de quaisquer resíduos que poderão ter entrado durante a operação de instalação. Idealmente, seriam também efetuadas análises de controlo microbiológico antes das condutas serem colocadas em serviço normal de abastecimento.

- Deve ser assegurada uma pressão adequada ao longo de todo o sistema de distribuição, por parte da entidade gestora.

- O tempo de retenção de água nos vários reservatórios existentes deve ser minimizado tanto quanto possível. Desta forma, é diminuída a degradação das propriedades organoléticas da água e do teor de cloro residual livre presente.

- O sistema de distribuição de água deve ser mantido num bom estado de conservação, de forma a diminuir o seu impacto negativo tanto na qualidade da própria água, como na quantidade da mesma (perdas de água). Para isso, vários procedimentos devem ser empregues para manter o estado de limpeza satisfatório das várias condutas e infraestruturas (como descargas de água da rede, por exemplo), como também a possível reparação ou até substituição de certas tubagens ou partes da rede de distribuição. Estas operações devem ser consideradas ao ser averiguada a idade mais avançada de algumas tubagens, o histórico de várias avarias e/ou problemas na qualidade da água localizadas num local específico ou a inspeção local de várias tubagens.

Outras aspetos relevantes

Outros aspetos de interesse não englobados nas secções anteriores são apresentadas de seguida, de forma a complementar o PCO:

- Devem ser elaborados procedimentos escritos para todas as ações de rotina e para todos os acontecimentos que ocorram com frequência e que possam provocar alterações indesejadas na qualidade da água. Enumera-se como exemplo destes casos: a receção, armazenamento e manuseamento de hipoclorito de sódio, ações de manutenção, reparação de roturas e instalação de novas condutas, etc. A título de exemplo, um procedimento relativo à reparação de roturas incluiria as várias etapas (antes, durante e após) da reparação de uma rotura ou acessório, apresentando com detalhe as várias etapas de reparação ou substituição dos materiais, os cuidados a ter e as recomendação pós-reparação (como efetuação de uma descarga de água para limpeza e de análises microbiológicas a amostras recolhidas, por exemplo), entre outros passos que poderão ser considerados necessários. Estes procedimentos devem ser constantemente revistos e atualizados.

- Quando for detetada a existência de algum tipo de poluição (tanto na origem da água como em algum ponto da rede de abastecimento) ou de alguma alteração significativa das condições climáticas (como chuvas intensas ou escassez de água), deve ser efetuado um controlo analítico mais exigente, permitindo dessa forma a identificação de alguma alteração indesejada na qualidade da água de forma mais rápida, e agilizando o processo de adoção de medidas apropriadas para solucionar o problema encontrado.

- Todo o material que entre em contacto com a água deve ser identificado e possuir um certificado de lote (pedido aos fornecedores) que ateste a sua conformidade de acordo com as normais europeias e/ou a marca CE para materiais que estarão em contacto com água para consumo humano. Entre os vários materiais que devem ser considerados encontram-se tubagens, acessórios, materiais de construção, revestimentos dos tanques e reservatórios, entre outros.

- Devem ser sempre mantidas peças de substituição e reagentes em quantidade suficiente, evitando dessa forma que qualquer parte do sistema de abastecimento de água fique inoperacional durante um longo intervalo de tempo.

- Realça-se também como essencial a formação adequada e atualizada dos vários operadores pertencentes à entidade gestora.

- Todas as ações efetuadas no âmbito do controlo operacional, tal como também quaisquer informações relevantes para o mesmo, devem ser devidamente registadas e analisadas. Deve, para isso, serem também desenvolvidas folhas de registo de fácil preenchimento, tanto para os operadores como para uma melhor interpretação futura. Entre os vários aspetos mencionados incluem-se: todos os controlos analíticos efetuados, descargas de água para limpeza de condutas, higienização de reservatórios, manutenção dos vários equipamentos de monitorização, medida e dosagem, reclamações dos consumidores, verificação do normal funcionamento do sistema, ações de manutenção, *stock* de hipoclorito de sódio existente, entre muitos outros aspetos que poderão ser de interesse e que foram ou não mencionados ao longo deste guia. Este trata-se de um passo de extrema importância que não só deixa registado que todo o sistema se encontra em boas condições, mas que também contribuirá para um estudo mais eficaz de todo o sistema e ajudará a prevenir futuras reclamações e incumprimentos na qualidade da água distribuída.