



**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

**MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017**

**CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO  
DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN**

**CATARINA MANO GONÇALVES PEREIRA**

Dissertação submetida para obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**Presidente do Júri:** Cidália Maria de Sousa Botelho

(Professor Auxiliar do Departamento de Química da Faculdade de Engenharia da  
Universidade do Porto)

---

**Orientador académico:** Cheng Chia Yau

(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de  
Engenharia da Universidade do Porto)

**Coorientador académico:** Cristina Maria Monteiro dos Santos

(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia  
da Universidade do Porto)

**Orientador na empresa:** Francisco Parada

(Responsável do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança da REN)

**Coorientador na empresa:** Pedro Fernandes

(Responsável do Departamento de Qualidade, Ambiente e Segurança da REN)

*Julho, 2017*



## AGRADECIMENTOS

Para que a presente dissertação fosse possível não poderia de deixar de mencionar e agradecer a todos, que de alguma forma, me deram força e apoio:

Ao meu pai e irmão, que me acompanharam nesta etapa, agradeço por me aturarem, pelo carinho e por todas as palavras de motivação “*Always look on the bright side of life*”.

À minha querida irmã e mãe, que estão longe, mas sempre no pensamento e perto do coração.

Ao meu querido Diogo Carvalho. Um enorme obrigada por todo carinho, amor e dedicação e por me acompanhares até à reta final. Obrigada por seres o companheiro e amigo que és.

À minha família de Pereira Reis, de Londres e arredores. Um enorme obrigada às minhas queridas tias e avó, ao Armando Prata e à família Gray.

Ao Rei Hélder, por serem a família que escolhi.

Aos meus amigos, por toda a força e energia positiva que me deram, com um especial obrigada à Margarida Milicic e ao Miguel Costa, por todas as palavras encorajadoras e por serem os grandes amigos que são.

Ao Spike por me dar os bons dias, quase todos os dias.

Aos meus companheiros da faculdade, Álvaro Oliveira, Gonçalo Amorim, Kristian Tavares e Ricardo Ramos, estou grata por terem feito parte desta jornada de 5 anos.

Ao Doutor Cheng e à Professora Cristina Santos, que me acompanharam e orientaram neste processo, agradeço toda a disponibilidade e ajuda prestada.

À REN pela oportunidade e experiência, muito gratificante a nível profissional e pessoal.

Ao Eng.º Francisco Parada e Eng.º Pedro Fernandes, agradeço pela confiança, pelo incentivo e por todos os conselhos que me deram.

A toda a equipa da REN de Ermesinde, agradeço o modo como me voltaram a acolher e amizade transmitida, com especial obrigada ao Departamento QAS, por toda a disponibilidade e preocupação demonstrada no decorrer do trabalho.



## RESUMO

A água a uma escala global é vista como um recurso natural indispensável à vida e um dos desafios fundamentais que integra o desenvolvimento sustentável na vertente ambiental. É o acesso de boa qualidade e a integração de sistemas de tratamento de água adequados, que respondem às necessidades de produção de água destinada ao consumo humano.

A presente dissertação tem como objetivo avaliar a qualidade da água em instalações da Redes Energéticas Nacionais (REN), que dependem de captações de água subterrânea para o acesso e abastecimento de água, tendo como finalidade a obtenção de água própria para consumo humano. No processo de análise e desenvolvimento deste planeamento são contemplados todos os desafios de logística, relativos ao estudo e implementação de sistemas de tratamento de água a pequenos aglomerados.

Para suportar tal projeto recorreu-se ao estudo e visitas a várias instalações nomeadamente: as subestações de Valdigem, Vila Pouca de Aguiar, Fanhões, Palmela e Pedralva; subestações piloto para a aplicação das soluções viáveis perante a problemática.

Numa primeira fase procedeu-se à caracterização e enquadramento das várias instalações, analisou-se os resultados de monitorização e realizou-se o diagnóstico das instalações com sistema de tratamento. Posteriormente constatou-se que o investimento e a implementação de sistemas de tratamento de pequena escala idealmente envolvem a utilização de tecnologias com baixo custo de construção e manutenção, mas garantem simultaneamente a eficiência de tratamento adequado. Todo o processo teve por base o cumprimento dos valores paramétricos estabelecidos na legislação aplicável à água destinada consumo humano.

Deste modo, foi criada uma ferramenta interativa para abstrair a complexidade de informação dispersa que existe sobre todas as variantes que estão presentes no que concerne ao tratamento de águas subterrâneas, sendo, portanto, uma mais valia e uma inovação aplicada ao caso concreto, contribuindo para o restabelecimento da qualidade da água e que servirá de apoio ao melhoramento do desempenho dos sistemas de tratamento.

Uma vez que, o consumo nas instalações está associado a intercalações variáveis e pouco permanentes, é necessário promover o planeamento sustentável de sistemas de tratamento. Esta ferramenta servirá de apoio à decisão na definição de sistemas de tratamentos e aplicação de equipamentos mais adequados a cada situação. Permitirá assim, diagnosticar e acompanhar a evolução da qualidade da água, identificar os processos de tratamento necessários, e ainda obter um conjunto de procedimentos de inspeção e medidas de controlo. Toda a informação obtida nos resultados permitirá o auxílio na aquisição das tecnologias de tratamento, e ainda na criação de guias de manutenção.

Uma mais valia do desenvolvimento da ferramenta passa pela a sua aplicação às restantes instalações que se encontram na mesma situação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água destinada ao consumo humano; Captações subterrâneas; Instalações da REN; Sistemas de tratamento de água; Ferramenta de apoio à decisão;



## **ABSTRACT**

Water on a global scale is a natural resource essential to life, and one of the fundamental challenges, faced by environmental researchers, is to obtain its sustainable development. It is the quality accessibility and the integration of adequate water treatment systems, which respond best to the needs of water production for human consumption.

The present dissertation aims to evaluate the quality of water in REN facilities, which depend on groundwater wells for accessibility and water supply, with the final objective of obtaining water suitable for human consumption. In the process of analysis and development of this planning, all logistic challenges regarding the study and implementation of water treatment systems for small agglomerates have been considered.

In order to support such a project, visits of, and the study of several facilities were conducted: the substations of Valdigem, Vila Pouca de Aguiar, Fanhões, Palmela and Pedralva; are the pilot substations being used for the application of viable solutions to the problem.

In the first phase, the facilities were characterized and framed, the results of the monitoring were analysed and the diagnosis of the facilities with treatment systems were carried out. It has subsequently been found that investment and the implementation of small-scale treatment systems ideally involve the use of low-cost construction and maintenance technologies, while ensuring adequate treatment efficiency. The entire process was based on compliance with the parametric values established in the legislation applicable to water intended for human consumption.

In this way, an interactive tool was created to abstract all the complexity of dispersed information that exists on all the variants that are present with respect to the treatment of groundwater, being, therefore, an added value and an innovation applied to the objective of contributing to the restoration of water quality and that will support the improvement of the performance of treatment systems.

Since on-site consumption is associated with variable and non-permanent intercalations, it is necessary to promote the sustainable planning of treatment systems. This tool will support the decision in the definition of the method of treatment and application of equipment more appropriate to each situation. It will thus enable the diagnosis and monitoring of water quality evolution, identify the necessary treatment processes, and obtain a set of inspection procedures and control measures. All the information obtained in the results will allow aid in the acquisition of the treatment technologies, as well as in the creation of maintenance guides.

An added value of the development of the tool is the ability to pass its application to the other facilities that are in the same situation.

**KEY-WORDS:** Water for human consumption; Groundwater wells; REN facilities; Water treatment systems; Decision support tool;



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	xv
<b>ABREVIATURAS</b> .....	xvii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO</b> .....	3
<b>2.1. ESTUDO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS</b> .....	4
<b>2.2. QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	6
<b>2.3. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEOS</b> .....	8
<b>2.4. GESTÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS</b> .....	10
2.4.1. ESTADO GLOBAL DAS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS .....	10
2.4.1. MONITORIZAÇÃO .....	11
2.4.1. MEDIDAS DE PROTEÇÃO .....	11
<b>3 TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA CONSUMO HUMANO</b> .....	13
<b>3.1. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO</b> .....	15
3.1.1. TRATAMENTO FÍSICO .....	15
3.1.2. TRATAMENTO QUÍMICO .....	17
<b>3.2. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO</b> .....	20
3.2.1. EQUIPAMENTOS ELETROMECAÂNICOS E METALOMECAÂNICOS .....	20
3.2.2. UNIDADES DE TRATAMENTO E INSTALAÇÕES DE APOIO .....	23
3.2.3. INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO .....	29
<b>3.3. EXPLORAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE PEQUENAS DIMENSÕES</b> ...	33
3.3.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO .....	33

3.3.2. MONITORIZAÇÃO OPERACIONAL .....	34
3.3.3. MANUTENÇÃO CORRETIVA E PREVENTIVA.....	34
<b>4 CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1. ENQUADRAMENTO .....</b>	<b>37</b>
4.1.1. REN – REDES ENERGÉTICAS NACIONAIS .....	37
<b>4.2. METODOLOGIA .....</b>	<b>39</b>
4.2.1. ENQUADRAMENTO E CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	41
4.2.2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	45
4.2.3. DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO.....	46
<b>4.3. INSTALAÇÕES COM SISTEMA DE TRATAMENTO .....</b>	<b>47</b>
4.3.1. VILA POUCA DE AGUIAR .....	47
4.3.2. VALDIGEM.....	52
<b>4.4. INSTALAÇÕES SEM SISTEMA DE TRATAMENTO .....</b>	<b>56</b>
4.4.1. FANHÕES .....	56
4.4.2. PALMELA .....	59
4.4.3. PEDRALVA .....	61
<b>5 FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2. INTRODUÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>65</b>
<b>5.3. DADOS DE BASE GERAIS .....</b>	<b>67</b>
5.3.1. DADOS DE BASE .....	67
5.3.2. DADOS DAS INSTALAÇÕES.....	72
<b>5.4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
5.4.1. DIAGNÓSTICO .....	72
5.4.2. DIMENSIONAMENTO .....	73
5.4.3. MEDIDAS CORRETIVAS.....	74
<b>5.5. APLICAÇÃO CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>75</b>
5.5.1. RESULTADOS E ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO DE VALDIGEM.....	75
5.5.2. RESULTADOS E ANÁLISE DA SUBESTAÇÃO DE FANHÕES .....	81
<b>5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>87</b>
5.6.1. ANÁLISE DO DESEMPENHO DA FERRAMENTA.....	87
5.6.2. DIFICULDADES E LIMITAÇÕES.....	88

<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>6.1. CONCLUSÕES .....</b>	<b>91</b>
<b>6.2. RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....</b>	<b>92</b>
 <b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	 <b>95</b>
 <b>ANEXOS .....</b>	 <b>I</b>
<b>A. CONSUMOS MÉDIOS MENSIS NAS INSTALAÇÕES .....</b>	<b>III</b>
<b>B. PLANOS DE MONITORIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES .....</b>	<b>VII</b>
<b>C. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA AOS RESTANTES CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>XI</b>



## ÍNDICE FIGURAS

Fig.2.1 – Tipo de origens de água utilizadas em 2015 por concelho .....	3
Fig.2.2 – Sistemas de Aquíferos .....	5
Fig.2.3 – Perfil natural do subsolo e a sua capacidade de atenuar contaminantes .....	8
Fig.2.4 – Processos comuns de contaminação da água subterrânea.....	9
Fig.3.1 – Bomba submersível para captação de água subterrânea de furo vertical: (A) Entrada, (B) Motor elétrico, (C) Impulsor multicelular, (D) Saída .....	20
Fig.3.2 – Bomba centrífuga: a) eixo horizontal, b) eixo vertical .....	21
Fig.3.3 – Bomba doseadora tipo membrana com atuação monitorizada.....	21
Fig.3.4 – a) Válvulas eletromagnéticas do tipo solenoide, b) Válvulas pneumáticas .....	22
Fig.3.5 – Válvula piloto.....	22
Fig.3.6 – a) Válvula do tipo cunha com atuador motorizado, b) Válvula de borboleta com atuador pneumático, c) Válvula de membrana com atuação direta por ar comprimido .....	23
Fig.3.7 –Filtros sob pressão com meio filtrante granular .....	24
Fig.3.8 – Filtração com meio filtrante artificial de forma cartucho .....	24
Fig.3.9 – Filtração com meio filtrante de carvão ativado.....	25
Fig.3.10 – Lâmpadas de radiação UV amálgama .....	25
Fig.3.11 – Unidade fechada de desinfecção UV para sistemas de pequenas dimensões e painel de controlo .....	26
Fig.3.12 – Mangas de limpeza operacional das lâmpadas UV .....	26
Fig.3.13 – a) Sensores de intensidade UV, b) Balastro eletrónico.....	26
Fig.3.14 – a) Gerador de ozono, b) Destruidor de ozono.....	27
Fig.3.15 – Depósitos de membrana com ar comprimido.....	28
Fig.3.16 – Esquema válvula de seccionamento e válvula de descompressão .....	28
Fig.3.17 – Controlador químico automático de cloro residual .....	29
Fig.3.18 – Controlador/medidor de pH.....	29
Fig.3.19 – Eléctrodo de pH e célula de fluxo .....	30
Fig.3.20 – Medidor de caudal e transmissor .....	30
Fig.3.21 – a) Contador de água, b) Emissor de impulso.....	31
Fig.3.22 – Medidor de turvação .....	31
Fig.3.23 – Medidor de pressão absoluta e manométrica .....	31

Fig.3.23 – Princípio de medição da pressão absoluta e manométrica.....	32
Fig.3.24 – Medidor de nível e quadro de controlo.....	32
Fig.3.25 – Medidor de nível ultrassónico .....	32
Fig.4.1 – Estrutura de uma subestação elétrica.....	38
Fig.4.2 – Esquema metodologia .....	40
Fig.4.3 – a) Unidades Hidrogeológicas e Sistemas Aquíferos, b) Unidades Geológicas.....	42
Fig.4.4 – Historial e caraterização da instalação de Vila Pouca de Aguiar .....	47
Fig.4.5 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Vila Pouca de Aguiar.....	47
Fig.4.6 – a) Sala do sistema de tratamento de Vila Pouca de Aguiar; b) Cisterna de armazenamento de água tratada.....	48
Fig.4.7 – Caraterização do sistema de tratamento da instalação de Vila Pouca de Aguiar .....	48
Fig.4.8 – Sistema de filtração: a) Filtros de cartucho, b) Manómetros de pressão .....	50
Fig.4.9 – Historial e caraterização da instalação de Valdigem.....	52
Fig.4.10 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Valdigem .....	52
Fig.4.11 – a) Sala do sistema de tratamento de Valdigem, b) Captação subterrânea - furo.....	53
Fig.4.12 – Caraterização do sistema de tratamento da instalação de Valdigem .....	53
Fig.4.13 – Diagnóstico do sistema de tratamento da instalação de Valdigem .....	55
Fig.4.14 – Historial e caraterização da instalação de Fanhões.....	56
Fig.4.15 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Fanhões .....	56
Fig.4.16 – Historial e caraterização da instalação de Palmela.....	59
Fig.4.17 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Palmela .....	59
Fig.4.18 – Historial e caraterização da instalação de Pedralva .....	61
Fig.4.19 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Pedralva .....	61
Fig.5.1 – Esquema do funcionamento da <i>FerramentaREN</i> .....	64
Fig.5.2 – Folha de Introdução de dados .....	65
Fig.5.3 – Folha de relatório de análises para o Controlo de Consumo Tipo .....	66
Fig.5.4 – Folha de relatório de análises para o Controlo de Consumo Tipo 1 (continuação).....	67
Fig.5.5 – Folha de dados de base.....	68
Fig.5.6 – Folhas de dados das instalações .....	72
Fig.5.7 – Esquema relação incumprimento-causa .....	73
Fig.5.8 – Esquema relação incumprimento-tratamento .....	73
Fig.5.9 – Esquema medidas corretivas.....	74
Fig.5.10 – Folha de introdução de dados para a instalação de Valdigem.....	76
Fig.5.11 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 2 para a instalação de Valdigem .....	77
Fig.5.12 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Valdigem .....	78

Fig.5.13 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Valdigem .....	79
Fig.5.14 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Valdigem .....	79
Fig.5.15 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Valdigem (continuação).....	80
Fig.5.16 – Folha de introdução de dados para a instalação de Fanhões.....	81
Fig.5.17 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 1 para a instalação de Fanhões .....	82
Fig.5.18 – Folha do Diagnóstico de outubro para a instalação de Fanhões .....	83
Fig.5.19 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Fanhões .....	84
Fig.5.20 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Fanhões .....	84
Fig.5.21 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Fanhões (continuação).....	85
Fig.C.1 – Folha de introdução de dados para a instalação de Vila Pouca de Aguiar.....	XI
Fig.C.2 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 1 para a instalação de Vila Pouca de Aguiar .....	XII
Fig.C.3 – Folha do Diagnóstico de dezembro para a instalação de Vila Pouca de Aguiar .....	XIII
Fig.C.4 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Vila Pouca de Aguiar ...	XIV
Fig.C.5 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Vila Pouca de Aguiar .....	XIV
Fig.C.6 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Vila Pouca de Aguiar (continuação) ..	XV
Fig.C.7 – Folha de introdução de dados para a instalação de Palmela .....	XVI
Fig.C.8 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 2 para a instalação de Palmela.....	XVII
Fig.C.9 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Palmela.....	XVIII
Fig.C.10 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Palmela .....	XIX
Fig.C.11 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Palmela.....	XIX
Fig.C.12 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Palmela (continuação).....	XX
Fig.C.13 – Folha de introdução de dados para a instalação de Pedralva.....	XXI
Fig.C.14 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 4 para a instalação de Pedralva .....	XXII
Fig.C.15 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Pedralva.....	XXIII
Fig.C.16 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Pedralva .....	XXIV
Fig.C.17 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Pedralva .....	XXIV
Fig.C.18 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Pedralva (continuação).....	XXV



## ÍNDICE TABELAS

Tabela 2.1 – Concentração natural de elementos dissolvidos nas águas subterrâneas.....	6
Tabela 2.2 – Resumo das principais características naturais da qualidade das águas subterrâneas em Portugal .....	7
Tabela 4.1 – Parâmetros de seleção dos casos de estudo .....	39
Tabela 4.2 – Historial e envolvente das instalações .....	41
Tabela 4.3 – Enquadramento geológico e hidrológico das instalações .....	42
Tabela 4.4 – Características do sistema de adução e distribuição das instalações .....	43
Tabela 4.5 – Distribuições dos consumos de água nas instalações .....	43
Tabela 4.6 – Consumos globais anuais das instalações .....	44
Tabela 4.7 – Tipos de controlos de consumo das instalações.....	45
Tabela 4.8 – Identificação dos incumprimentos paramétricos dos casos de estudo .....	46
Tabela 4.9 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Vila Pouca de Aguiar ...	49
Tabela 4.10 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Valdigem.....	54
Tabela 4.11 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Fanhões.....	58
Tabela 4.12 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Palmela.....	60
Tabela 4.13 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Pedralva.....	62
Tabela 5.1 – Lista de causas associadas aos incumprimentos paramétricos.....	69
Tabela 5.2 – Classificação da qualidade da água.....	70
Tabela 5.3 – Processos e operações da solução de tratamento .....	71
Tabela 5.4 – Sistemas de tratamento e respetivos equipamentos.....	71
Tabela A.1 – Consumos mensais globais na subestação de Vila Pouca de Aguiar .....	III
Tabela A.2 – Consumos mensais globais na subestação de Valdigem.....	III
Tabela A.3 – Consumos mensais globais na subestação de Fanhões .....	IV
Tabela A.4 – Consumos mensais globais na subestação de Palmela.....	IV
Tabela A.5 – Consumos mensais globais na subestação de Pedralva.....	V
Tabela B.1 – Controlo de Consumo Tipo 1 .....	VII
Tabela B.2 – Controlo de Consumo Tipo 2.....	VIII
Tabela B.3 – Controlo de Consumo Tipo 4.....	VIII
Tabela B.4 – Controlo Despistagem .....	IX



## **ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS**

- ARH – Administração de Região Hidrográfica.
- AT – Alta Tensão.
- CAG – Carvão Ativado Granulado.
- CAP – Carvão Ativado em Pó.
- CR1 – Controlo de Rotina 1.
- CR2 – Controlo de Rotina 2.
- CI – Controlo de Inspeção.
- CE – Comissão Europeia.
- DGADR – Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.
- DQA – Diretiva-Quadro da Água.
- EDP – EDP, Gestão da Produção de Energia, S.A.
- GNL – Gás Natural Liquefeito.
- QAS –Qualidade, Ambiente e Segurança.
- EPAL – Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.
- ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos.
- FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- MAT – Muito Alta Tensão.
- MAS – Massa de Água Subterrânea.
- PGRH – Plano de Gestão de Região Hidrográfica.
- PE – Polietileno.
- PEAD – Polietileno de Alta Densidade.
- PEX – Polietileno Reticulado.
- PRFV – Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro.
- PVC – Policloreto de Vinilo.
- REN – Redes Energéticas Nacionais, S.A.

RNT – Rede Nacional de Transporte.

RH – Região Hidrográfica.

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

SVPA – Subestação de Vila Pouca de Aguiar.

SVG – Subestação de Valdigem.

SFN – Subestação de Fanhões.

SPM – Subestação de Palmela.

SPDV – Subestação de Pedralva.

SNIRH – Sistema Nacionais de Informação de Recursos Hídricos.

UV – Ultravioleta.

VBA – Visual Basic.for Applications.

WHO – Organização Mundial de Saúde.

# 1

## INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado encontra-se inserida na temática de gestão da qualidade da água para consumo humano de captações subterrâneas, tendo como base de estudo as instalações da empresa Redes Energéticas Nacionais (REN).

A REN trabalha diariamente, para o desenvolvimento e operação de um sistema energético mais eficiente, seguro e competitivo, de forma a garantir o acesso de energia a todos. Para tal, conta com mais de 80 subestações dispersas por todo o território de Portugal Continental, que promovem o transporte de eletricidade em muito alta tensão (MAT) ou em alta tensão (AT) para zonas de consumo. Por motivos ambientais e de ocupação territorial, estas subestações encontram-se descentralizadas, em regiões dispersas de edificações e de difícil acesso à rede pública de abastecimento de água, dependendo assim, de captações subterrâneas particulares para abastecimento e consumo humano.

Dado o compromisso da empresa em assegurar o cumprimento da legislação e salvaguardar a saúde ocupacional dos seus colaboradores, a avaliação e garantia da qualidade da água para consumo é uma área prioritária de gestão ambiental dentro da empresa. A presente dissertação realizada na REN Serviços, S.A., no Departamento de QAS – Qualidade, Ambiente e Segurança, surgiu perante a necessidade da empresa assegurar a qualidade da água para consumo aos seus colaboradores, de modo a disporem das melhores condições para o cumprimento das suas funções, assim como, para que todos os padrões de higiene, saúde e segurança no trabalho sejam cumpridos.

O objetivo principal do trabalho passou pela análise dos resultados das monitorizações de qualidade da água de cinco subestações da REN, e pelo estudo de soluções integradas de tratamento de água, que garantam o cumprimento dos valores paramétricos estabelecidos na legislação aplicável à água para consumo humano. Uma vez que, o consumo nas instalações está associado a intercalações variáveis e pouco permanentes, e no sentido de promover o planeamento sustentável de sistemas de tratamento, foi desenvolvida uma ferramenta que servirá de apoio à decisão na definição de utilização de tratamentos e aplicação de equipamentos mais adequados a cada situação.

O desenvolvimento dos trabalhos iniciou-se com uma fase de pesquisa que incidiu fundamentalmente no conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, assim como, no enquadramento hidrogeológico, na identificação de pressões e na gestão da qualidade das águas subterrâneas, presentes no Capítulo 2.

O Capítulo 3 surge da necessidade de consolidar conhecimentos teóricos, na vertente dos sistemas de tratamento de água, avaliação da qualidade da água e respetivo enquadramento legal. Para tal,

foram estudados os processos e operações convencionais de tratamento, analisou-se os sistemas mais adequados a pequenos núcleos e os mecanismos de diagnóstico e gestão destes sistemas.

No capítulo 4 são apresentados os casos de estudo, que irão servir de base para a validação da ferramenta de apoio à decisão. Neste ponto irá ser feito o enquadramento da atividade da empresa e das respetivas subestações. Para tal, foi desenvolvida uma metodologia multidisciplinar que tem como objetivo enquadrar e caracterizar os casos de estudo, analisar a qualidade da água de consumo e realizar o diagnóstico das instalações com sistema de tratamento.

Posteriormente, no capítulo 5 criaram-se as bases para o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão que permite compilar os dados relacionados com a gestão da qualidade da água para consumo humano. Pretende-se que esta ferramenta possibilite gerir não só os dados da qualidade da água, mas também auxilie na tomada de decisão das soluções de tratamento a serem instalados, como ainda, no controlo e acompanhamento de sistemas de tratamento, presentes em alguns casos, servindo de referência para as restantes subestações.

# 2

## ÁGUA SUBTERRÂNEA DE ABASTECIMENTO

O acesso à água potável é um direito humano básico e uma condição indispensável à saúde e ao desenvolvimento a nível nacional, regional e local (WHO, 2011). Portugal encontra-se na região mediterrânea caracterizada por um clima particular, onde ocorre uma forte variabilidade da precipitação, o que leva a fenómenos de cheias e ocasionalmente a períodos de secas. Aliado a esta tendência, nas estações quentes a disponibilidade de recursos hídricos pode reduzir-se e a procura é crescente, para responder às necessidades de rega das culturas agrícolas e ao abastecimento urbano dos residentes e do turismo (Porto Editora, 2013). No âmbito desta variabilidade e escassez natural, surge a necessidade da gestão deste recurso. O conhecimento das características relativas à sua quantidade e à avaliação da sua qualidade, torna-se, portanto, imprescindível para gerir o abastecimento de água potável de um modo sustentável e satisfatório face às necessidades humanas.

As captações em Portugal para a produção de água de consumo humano são classificadas, de acordo com a sua proveniência, em águas superficiais (rios, lagos e albufeiras) ou águas subterrâneas (sistemas de aquíferos). Em 2015, a percentagem da fonte de água subterrânea destinada ao abastecimento público em Portugal foi de 33,24 % da total (33,76 % em 2014) (Figura 1, ERSAR, 2016) (Fernandes *et al.*, 2016).

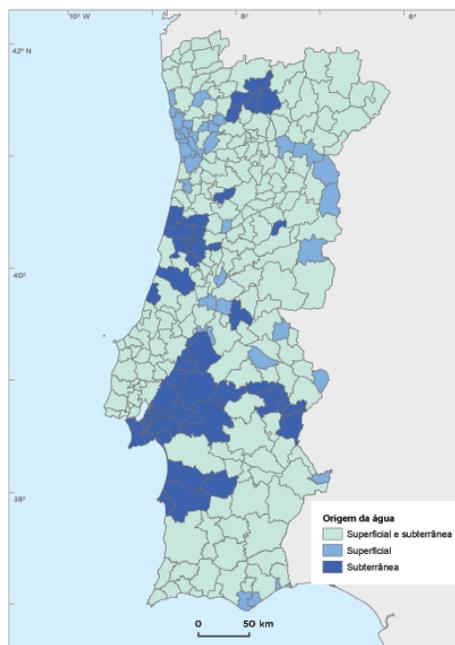


Fig.2.1 – Tipo de origens de água utilizadas em 2015 por concelho. (Fonte: ERSAR 2016)

Apesar das águas subterrâneas representarem uma menor percentagem das captações para o abastecimento de água, por vezes constituem a única fonte de água para consumo humano, provocada pelo desfasamento e fragmentação da distribuição da população e pela variação na disponibilidade de recursos hídricos em várias regiões do País. Deste modo, o conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos representa uma oportunidade e um desafio de gestão.

A integração deste recurso nos sistemas de abastecimento aliado à sua ampla distribuição no território e à sua disponibilidade em termos de qualidade e quantidade, viabiliza o acesso a água potável em pequenos núcleos populacionais e meios rurais e, ainda em situações de emergência ou períodos de seca (Almeida *et al.*, 2000). Assim, tais características levam a concluir que a melhor forma de garantir uma boa qualidade da água para consumo humano, passa pelo desenvolvimento de estratégias de utilização conjunta de águas superficiais e águas subterrâneas e pela proteção deste recurso desde a origem.

## **2.1. ESTUDO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

Um reservatório de água subterrânea, também designado por aquífero, pode ser definido como toda a formação geológica com capacidade de armazenar e transmitir a água e cuja exploração seja economicamente rentável (Fiuza, 2009). A água circula dentro dos aquíferos de modo distinto, consoante o meio hidrogeológico e as características do substrato litológico que os constituem. Do ponto de vista hidrogeológico, existem aquíferos fraturados, cárscicos e porosos, que regem as condições de armazenamento e transmissão de água (Ribeiro *et al.*, 2010). Dentro dos aquíferos fraturados e cárscicos há um padrão de deslocação através de alinhamentos correspondentes às fraturas, com uma movimentação que pode ser muito heterogénea e aleatória. Nos aquíferos de carácter poroso, o comportamento está mais próximo de um meio isotrópico e homogéneo, ou seja, há uma previsibilidade em relação ao comportamento dinâmico da água subterrânea (Chambel, 2012).

O comportamento de um sistema aquífero pode ser caracterizado pela sua conexão hidráulica, segundo a sua capacidade de transmissividade (corresponde à quantidade de água que um aquífero pode transmitir), o coeficiente de armazenamento (corresponde, em percentagem, ao volume de água gravítica contida num determinado volume de aquífero), o coeficiente de permeabilidade (corresponde na prática à facilidade com que a água atravessa o meio subterrâneo) e o seu volume de recarga e a qualidade da água (Barbosa *et al.*, 2009).

O estudo dos ambientes hidrogeológicos de uma região representa um mecanismo muito importante no reconhecimento do sistema aquífero. O seu enquadramento permite uma melhor compreensão e previsão do comportamento das águas subterrâneas a nível quantitativo (circulação, armazenamento e distribuição) e qualitativo (interações físicas, químicas e biológicas). Para além do mais, este tipo de estudo é fundamental no conhecimento da capacidade de resposta dos aquíferos às pressões que lhes são impostas durante as captações, assim como, na avaliação da suscetibilidade que estes apresentam a mudanças extremas e na previsão da migração de contaminantes (WHO, 2006).

Em Portugal continental, a maioria das litologias correspondem ao grupo que é designado por rochas cristalinas, rochas duras ou rochas fraturadas, onde a circulação da água se faz fundamentalmente através de fraturas e não de poros, como é o caso de rochas de tipo arenoso. Cerca de dois terços da superfície do território português é caracterizado pelo Maciço Antigo, coberto por rochas fraturadas, correspondentes às rochas ígneas (granitoides na sua maioria) e metamórficas (xistos e grauvaques na sua maioria). O restante terço do território continental português corresponde a rochas de dois tipos: cárscicas, ou seja, rochas que tem igualmente uma

permeabilidade por fratura, por vezes com fraturas muito alargadas provocadas pela dissolução química, mas suficientes para poderem permitir a exploração de água; e rochas porosas, do tipo areias e arenitos, com uma circulação de água muito mais uniforme. No entanto, existe sempre uma grande irregularidade na distribuição do armazenamento do recurso em cada um dos tipos de aquíferos, nomeadamente quando zonas porosas são constituídas por uma grande percentagem de argilas, as quais colmatam a passagem de água subterrânea (Chambel, 2012).

Para além do Maciço Antigo, existem três outras zonas: a Bacia Meso-Cenozóica Meridional caracterizada por rochas diversificadas, que incluem formações de permeabilidade baixa (argila e margas), formações de permeabilidade fissural (arenitos), formações de alta permeabilidade do tipo cársico (calcário) e ainda com algumas intercalações de rochas ígneas; a Bacia Meso-Cenozóica Ocidental constituída por formações calcárias, margas, arenitos, siltitos e argilitos; e a Bacia Terciária do Tejo-Sado que constituída fundamentalmente por aquíferos porosos e, que pela sua posição estabelece a conexão entre as regiões do norte e sul, que apresentam características físicas bastante distintas (Almeida *et al.*, 2000; Ribeiro *et al.*, 2010).

A distribuição dos recursos hídricos subterrâneos em Portugal continental, representada na Figura 2.2, está intimamente relacionada com as estruturas geológicas que moldaram o nosso território, com a sua conexão hidráulica, dimensão e relação de qualidade.

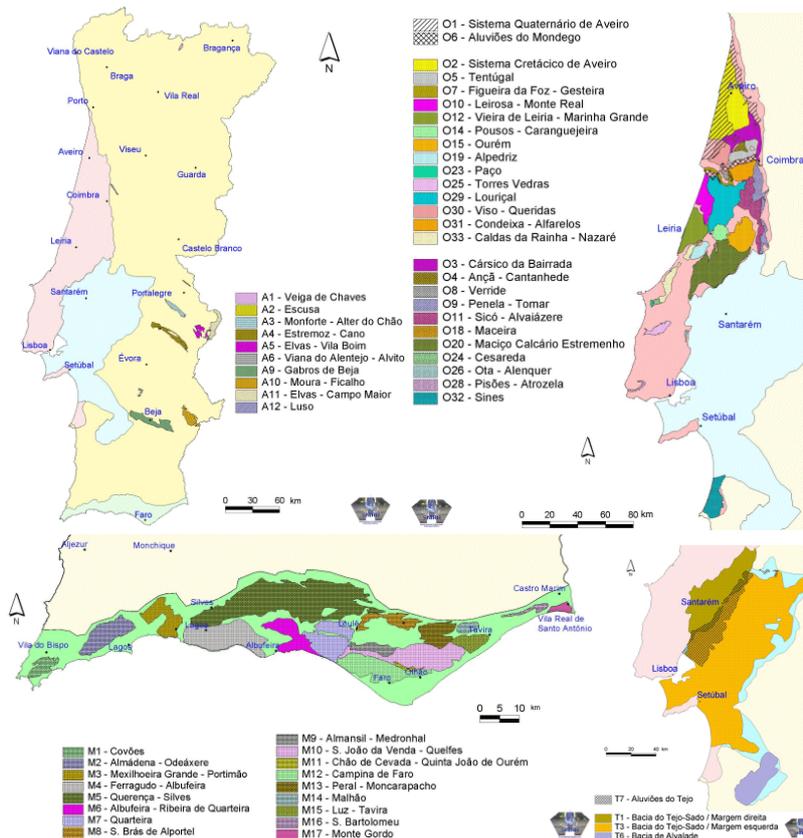


Fig.2.2 – Sistemas de Aquíferos. (Fonte: SNIRH 2016)

Embora uma classificação tão ampla seja útil, inevitavelmente envolve algumas simplificações das variações reais e da complexidade geológica subterrânea. Com o avanço da capacidade de cálculo matemático e armazenamento de dados a nível informático, vários tipos de modelos hidrogeológicos têm sido desenvolvidos (Fulton, *et al.*, 2005; Follin, *et al.*, 2008; Aguilar, *et al.*, 2013), permitindo o aperfeiçoamento de técnicas utilizadas na gestão dos recursos hídricos subterrâneos e no auxílio da tomada de decisão e proteção deste recurso (Zeferino, 2016).

O desenvolvimento de modelos de caracterização detalhada do meio hidrológico, através do levantamento hidrodinâmico e hidrogeoquímico, monitorização dos níveis piezométricos dos aquífero e da precipitação, permitem o conhecimento do estado das massas de água subterrânea e a adequada gestão da exploração do aquífero, evitando situações de sobre-exploração e de risco de contaminação das águas subterrâneas exploradas, face ao grau de vulnerabilidade do aquífero e a potenciais focos de contaminação.

A utilização de água subterrânea no abastecimento encontra-se diretamente dependente do ciclo natural hidrológico e da ação do homem. Por conseguinte, e face às necessidades de fornecimento de sistemas de água potável, é necessário proceder-se à realização de estudos para caracterizar este recurso a nível de qualidade e realizar o levantamento de potenciais fontes de contaminação, para se determinar e garantir a segurança global de todo o sistema de abastecimento (Casimiro *et al.*, 2007).

## 2.2. QUALIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A qualidade natural das águas subterrâneas resulta da influência do clima, da geologia e encontra-se intrinsecamente associada à recarga direta por precipitação e às trocas de água com outras massas de água. A ocorrência de constituintes naturais nas águas subterrâneas varia muito de acordo com a natureza do aquífero e com o tempo de residência da água nesse mesmo aquífero.

Durante a circulação da massa de água subterrânea ocorrem diversas interações químicas e bioquímicas entre as águas subterrâneas e os materiais geológicos dos solos e das rochas, que proporcionam uma grande variedade de constituintes inorgânicos e orgânicos dissolvidos (Harter, 2003). Alguns sólidos dissolvidos podem ter origem na água de precipitação ou água do rio que recarrega o aquífero. Relativamente às águas que não estão sujeitas a alterações provenientes das águas superficiais, a sua qualidade resulta da dissolução de iões inorgânicos característicos do material rochoso, cuja distribuição e concentrações são determinadas pelos fatores hidrogeológicos (Hiscock *et al.*, 2014).

A qualidade química natural das águas subterrâneas é geralmente boa, uma vez que, na maioria dos casos, está protegida de efeitos diretos da poluição. Porém, poderão existir elementos naturalmente presentes em concentrações elevadas que podem condicionar o uso da água e ainda originar problemas de saúde humana. A concentração relativa natural de elementos dissolvidos nas águas subterrâneas pode ser dividida em três grupos: principais, secundários e vestigiais como apresentado na Tabela 2.1 (Barbosa *et al.*, 2009). A massa total de constituintes dissolvidos é referida como a concentração de sólidos dissolvidos totais (SDT). Na água, todos os sólidos dissolvidos são iões carregados positivamente (catiões) ou iões de carga negativa (aniões), que irão ser refletidos na condutividade elétrica da água (Harter, 2003).

Tabela 2.1 – Concentração natural de elementos dissolvidos nas águas subterrâneas. (Fonte: Adaptado de Todd, 1980 e Chapman, 1996 em Barbosa *et al.*, 2009)

	Elementos principais (1 a 1000 mg/L)	Elementos secundários (0,01 a 10 mg/L)	Elementos vestigiais (0,0001 a 0,1 mg/L)	
Catiões	Sódio (< 200 mg/L)	Ferro	Arsénio	Chumbo
	Cálcio (< 100 mg/L)	Alumínio	Bário	Lítio
	Magnésio (<50 mg/L)	Potássio	Brómio	Manganês
Aniões	Bicarbonatos (< 500 mg/L)	Carbonato	Cádmio	Níquel
	Sulfatos (< 200 mg/L)	Nitrato	Crómio	Fosfato
	Cloretos (< 1000 mg/L)	Fluoreto	Cobalto	Estrôncio
	Sílica (< 100 mg/L)	Boro	Cobre	Urânio
		Selénio	Iodo	Zinco

Devido ao ambiente especial nos aquíferos, as águas subterrâneas apresentam uma concentração muito baixa de oxigénio dissolvido, permitindo que vários iões metálicos se encontrem num estado de redução. Contudo, quando as águas entram em contato com o ar, após extração, a mudança da potência de oxidação-redução pode resultar na alteração significativa da sua qualidade, especialmente no que se relaciona com a cor, turvação e sólidos suspensos resultantes da formação de hidróxidos ou óxidos de metais.

A qualidade das águas subterrâneas pode ainda ser igualmente influenciada direta e indiretamente por processos microbiológicos, que podem transformar os constituintes inorgânicos e orgânicos das águas subterrâneas, acelerando os processos geoquímicos (Chapman, 1996).

A maioria dos organismos necessita de oxigénio para a respiração (respiração aeróbica) e na degradação da matéria orgânica, mas quando as concentrações de oxigénio se esgotam, algumas bactérias podem usar alternativas, tais como nitrato, sulfato e dióxido de carbono (respiração anaeróbica). Em condições anaeróbicas bactérias desnitrificadoras promovem a redução do nitrato na presença de matéria orgânica, levando à produção de nitrito, que por sua vez é quebrado a azoto. Sob condições aeróbicas, a amónia (que pode resultar da decomposição de matéria orgânica) é oxidada a nitrito e nitrato. Do mesmo modo, o ferro pode ser submetido a redução ou oxidação, dependendo também das condições do pH das águas subterrâneas. Em ambientes microbiológicos favoráveis, o desenvolvimento de bactérias de ferrosas pode causar obstrução de elementos dos furos e ainda a perda de permeabilidade do material do aquífero perto da captação (Chapman, 1996).

Em Portugal, o ambiente hidrogeológico confere às águas subterrâneas uma composição química natural com concentrações elevadas de alguns elementos, destacando-se o ferro e o manganês presentes nas unidades hidrogeológicas da Orla Mesocenozóica Ocidental e Meridional e da Bacia Cenozóica do Tejo-Sado. Um outro exemplo que ocorre em algumas zonas de Portugal é a presença de cloretos em elevada concentração, como resultado da circulação de águas subterrâneas em zonas diapíricas (*e.g.*, em Rio Maior). A Tabela 2.2 apresenta uma síntese de alguns dos elementos que foram identificados em concentrações elevadas nas características naturais da qualidade das águas subterrâneas em Portugal (Barbosa *et al.*, 2009).

Tabela 2.2 – Resumo das principais características naturais da qualidade das águas subterrâneas em Portugal. (Fonte: Adaptado de Meus *et al.*, 2006 em Barbosa *et al.*, 2009)

Tipo de Aquíferos	Litologia	Idade	Elementos naturais
Detrítico multicamada	Cascalho, areia, siltite e argila	Quaternário	As, Fe, Mn
Detrítico	Areias, argilas, margas	Meso-cenozóico	Cl, Fe, Mn, F
Carbonatado não casificado	Calcário, dolomite, margas	Jurássico	SO <sub>4</sub>
Cristalino	Granito e xistos	Paleozóico	Al, As

A interpretação da distribuição de parâmetros hidroquímicos nas águas subterrâneas pode ajudar na compreensão das condições hidrogeológicas e também no apoio às decisões relativas à qualidade da água destinada à água potável e no conhecimento dos processos de atenuação natural de certos contaminantes das águas subterrâneas (Hiscock *et al.*, 2014).

### 2.3. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A presença de substâncias nas águas subterrâneas pode ser afetada por processos naturais, bem como por ações associadas às atividades humanas.

Os perfis naturais de subsolo atenuam ativamente muitos poluentes da água, através de processos de filtração natural que ocorrem durante o transporte subsuperficial na zona vadosa (não saturada). Esta aptidão da zona-tampão, representa a primeira e mais importante defesa natural contra a poluição das águas subterrâneas, onde ocorrem processos de dispersão e auto-eliminação dos contaminantes resultantes da degradação bioquímica e de reações químicas. No entanto estes processos são comprometidos devido a fenómenos de sorção que aumentam o tempo disponível destes contaminantes, provocando o retardamento da sua degradação e consequente eliminação (Foster *et al.*, 2002).

Nem todos os perfis de subsolo e camadas subjacentes são igualmente eficazes na atenuação dos contaminantes, e os aquíferos serão particularmente vulneráveis à poluição quando constituídos por rochas consolidadas muito fissuradas. O grau de atenuação e retenção varia muito de acordo com os tipos de contaminantes e processos associados a um dado ambiente hidrogeológico (Figura 2.3) (Foster *et al.*, 2002).

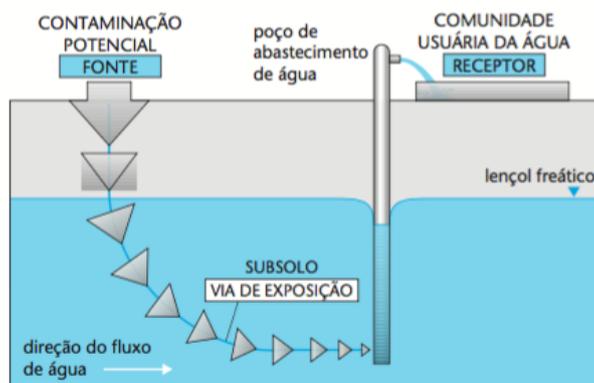


Fig.2.3 – Perfil natural do subsolo e a sua capacidade de atenuar contaminantes. (Fonte: Adaptado de Foster *et al.*, 2002)

Como consequência do desenvolvimento de atividades, várias são as fontes de poluição que podem ameaçar e levar a deterioração da qualidade das águas subterrâneas. A poluição dos aquíferos de origem antropogénica ocorre quando as atividades agropecuárias, industriais, extração de minério, bem como as emissões e contaminação de lixiviados, são inadequadamente controlados e, em certos casos, excedem a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura (Figura 2.4) (Foster *et al.*, 2002).

Os problemas de qualidade das águas subterrâneas decorrentes da sobrecarga de aquíferos podem ser caracterizados, em termos da captação de água e da poluição exercida sobre as massas de água, em dois tipos de pressão (Fernandes *et al.*, 2016):

- (1) Pressões qualitativas: referentes à poluição difusa ou pontual e às intrusões marinhas;
- (2) Pressões quantitativas: referentes às atividades de captação de água para diversos fins.

As pressões qualitativas responsáveis pela poluição difusa resultam do arrastamento de poluentes naturais e antropogénicos por escoamento superficial até às massas de água superficiais ou por lixiviação até às massas de água subterrâneas (Fernandes *et al.*, 2016). Neste contexto, a poluição difusa pode resultar de várias origens, nomeadamente de:

- Fertilizantes e pesticidas aplicados em terrenos agrícolas;
- Óleos, gorduras e substâncias tóxicas do escoamento superficial de zonas urbanas;
- Sedimentos de áreas em construção;
- Sais resultantes das práticas de rega e escorrências ácidas de minas abandonadas;
- Microrganismos e nutrientes provenientes da valorização agrícola de efluentes pecuários.

Por outro lado, as pressões qualitativas responsáveis pela poluição pontual sobre as massas de água relacionam-se genericamente com a rejeição de águas residuais provenientes de diversas atividades, nomeadamente de origem urbana, industrial e pecuária (Fernandes *et al.*, 2016).

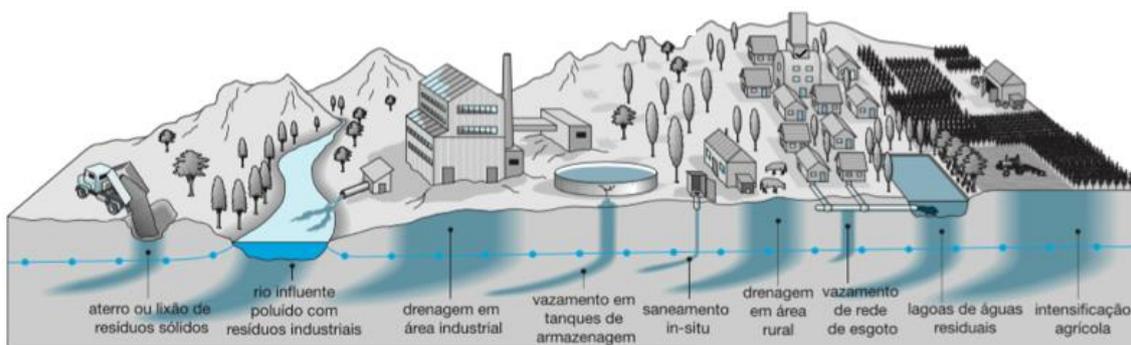


Fig.2.4 – Processos comuns de contaminação da água subterrânea. (Fonte: Adaptado de Foster *et al.*, 2002)

Relativamente às intrusões marinhas, estas encontram-se diretamente associadas ao excesso de extração de aquíferos costeiros, que podem induzir o movimento e contaminação da interface de água doce com a água do mar, refletindo-se na presença de cloretos de sódio e também contaminantes persistentes produzidos antropicamente. (Foster *et al.*, 2002; WHO, 2006)

A nível quantitativo para além da captação de água, ocorrem alterações no aquífero pela descarga de efluentes domésticos e industriais no terreno, pelas práticas agrícolas que introduzem água no solo, pela injeção na subsuperfície através de processos de recarga artificial e pela extração de água dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos (Barbosa *et al.*, 2009).

Segundo Barbosa *et al.*, 2009, em Portugal, as principais causas da deterioração da qualidade da água são provocadas pela insuficiência dos sistemas de tratamento de águas residuais urbanas e industriais, pela poluição difusa agropecuária e pela escorrência e infiltrações de áreas de explorações mineiras e antigas lixeiras.

A nível qualitativo o setor agrícola e da pecuária representam as atividades antropogénicas de maior impacto, na medida que são responsáveis pela produção de efluentes, contendo azoto e fósforo, constituindo uma importante fonte de poluição, tanto pontual (se ocorrerem descargas no solo ou nas águas superficiais) como difusa (se os efluentes forem aplicados nos solos agrícolas de forma menos adequada) (Fernandes *et al.*, 2016). Nas últimas décadas, a atividade agrícola tem conduzindo a um aumento significativo dos casos de contaminação de águas subterrâneas com produtos agroquímicos, principalmente fertilizantes nitrogenados. A poluição por nitratos das águas subterrâneas já atingiu níveis preocupantes em várias regiões de Portugal, especialmente nos aquíferos pouco profundos (Ribeiro *et al.*, 2010).

Na faixa costeira de Portugal águas subterrâneas captadas com profundidades superiores a 50 m frequentemente contêm elevadas concentrações de ferro e manganês. Na unidade Meridional, alguns sistemas de aquíferos são ameaçados pela intrusão de água do mar devido à sobre-exploração das águas subterrâneas. A intrusão de água salgada também pode ser induzida pela transmissão entre o aquífero e os estuários através de uma formação aquitardo. Este fenómeno foi

detetado em algumas áreas locais do sistema de aquífero confinado do Tejo-Sado nas proximidades dos estuários do Sado e do Tejo, devido à intensa exploração de águas subterrâneas (Ribeiro *et al.*, 2010).

## 2.4. GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Tem-se tornado cada vez mais evidente que a água subterrânea não pode ser considerada apenas como um reservatório de água para abastecimento (CE, 2008), merecendo uma adequada gestão e proteção, tendo em consideração a compatibilidade da sua disponibilidade com a satisfação das necessidades atuais e futuras.

Na prática não existem critérios específicos da qualidade de água subterrânea ao nível nacional, mundial ou internacional, uma vez que os aquíferos são de características regionais (NJAC, 2010). Em **Portugal**, a gestão dos recursos hídricos é garantida através da elaboração de Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas (PGRH) e pela avaliação e proteção das massas de águas subterrâneas em risco. Este instrumento regulador vem responder aos requisitos impostos pela Diretiva-Quadro da Água (DQA) (Diretiva n.º 2000/60/CE, de 23 de outubro).

### 2.4.1. ESTADO GLOBAL DAS MASSAS DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS

A DQA resulta na transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva n.º 2000/60/CE, de 23 de outubro para a Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, alterada e republicada pelo Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho (Lei da Água) e por legislação complementar, que estabelece o enquadramento para a gestão sustentável da água, destacando-se como principal objetivo ambiental o de se alcançar o bom estado de todas as massas de água superficiais e subterrâneas, através da implementação de programas de medidas desenvolvidas e implementadas no âmbito dos PGRHs.

Atualmente encontra-se em vigor o 2.º ciclo de planeamento (PGRH 2016-2021), onde foi reavaliada a classificação do estado das massas de água determinada no 1.º ciclo de planeamento (PGRH 2009-2015) para as oito Regiões Hidrográficas (RH), através de metodologias que integram as várias fases da avaliação do estado, desde as pressões até métodos de cálculo (Lopes, 2017).

A classificação do estado das massas de água subterrâneas é definida tendo por base a avaliação de dois estados: (1) Estado Quantitativo (Portaria n.º 1115/2009, de 29 de setembro) e (2) Estado Químico (Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 de outubro), sendo o estado final conferido pelo pior dos dois estados. Portugal adotou, para avaliação, do estado das massas de água subterrânea, os procedimentos constantes do Guia n.º 18 “*Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment*” (elaborado pelo Grupo de Trabalho das Águas Subterrâneas, no âmbito da estratégia Comum de Implementação da DQA) (Fernandes *et al.*, 2016).

- (1) A avaliação do estado quantitativo imposta pela Portaria n.º 1115/2009, de 29 de setembro, envolve a avaliação da recarga e monitorização da extração nas massas de água subterrânea, com o objeto de se prever situações de sobre-exploração de aquíferos e de assegurar o bom estado quantitativo das mesmas. A avaliação da recarga abrange as várias entradas de água nas referidas massas, quer sejam resultantes de da recarga natural por precipitação quer de outras origens, através do acompanhamento da variação dos níveis piezométricos. A avaliação das extrações nas massas de água subterrâneas tem como base a informação acerca das várias captações existentes na mesma e respetivas quantidades de água extraídas.

- (2) Na avaliação do estado químico o Decreto-Lei n.º 208/2008, de 28 outubro, estabelece as normas de qualidade e limiares aplicados a grupos de poluentes e indicadores de poluição. O estabelecimento de limiares que têm por base a extensão da interação entre a água subterrânea e os ecossistemas aquáticos associados e dependentes, a interferência dos usos atuais ou futuros do recurso, as características hidrogeológicas, incluindo informações das concentrações naturais e balanços hídricos. A determinação dos limiares tem igualmente em consideração as origens dos poluentes, a sua possível ocorrência natural, a sua toxicologia, a sua tendência à dispersão, persistência e o seu potencial de bioacumulação.

#### 2.4.2. MONITORIZAÇÃO

Decorrente da implementação da DQA, a rede de monitorização das águas subterrâneas foi estruturada de forma a garantir um conhecimento, o mais representativo possível, da área de circunscrição territorial das ARH (Administração de Região Hidrográfica) (Ferreira, 2017).

O levantamento de todas as informações necessárias para avaliar o estado das massas de água subterrânea é garantido pelo Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), que desenvolve estudos de monitorização das águas subterrâneas realizado a nível da ARH e Concelho ou a nível da Unidade Hidrogeológica e Sistema Aquífero, onde fazem parte pontos de água subterrânea, dos quais 643 pertencem à rede de quantidade e 778 à rede de qualidade (SNIRH, 2017).

Durante a avaliação do estado quantitativo são analisadas as tendências dos níveis piezométricos nessas massas de água, o qual constitui um importante indicador da evolução do nível de água subterrânea ao longo do tempo. No que diz respeito à monitorização da qualidade da água, e de acordo com as disposições da DQA, existem cinco parâmetros que são obrigatoriamente monitorizados: o pH, o oxigénio dissolvido, a condutividade, os nitratos e o amónio. Consideram-se que os três últimos parâmetros, em conjunto com parâmetro cloretos, constituem bons indicadores da evolução da qualidade da água subterrânea (Ribeiro *et al.*, 2010).

#### 2.4.2. MEDIDAS DE PROTEÇÃO

A garantia da qualidade da água para consumo humano está intimamente relacionada com a proteção da respetiva origem de água bruta. Neste sentido, o Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de setembro, estabelece os critérios para a delimitação de perímetros de proteção para captações de abastecimento de água utilizados para consumo humano e as restrições da utilização do solo dentro dos perímetros. A determinação de cada perímetro deve ser baseada num estudo/proposta com base nas características geológicas e hidrogeológicas da zona envolvente à captação, bem como na avaliação da vulnerabilidade e risco de poluição que pode estar presente na área (Silva *et al.*, 2016).

Outro instrumento legal é a Diretiva 91/676/CEE, do Concelho, de 12 de dezembro, relativa aos nitratos de água europeus e à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, que foi transposta para a legislação nacional portuguesa pelos decretos-lei 235/97 de 3 de setembro e 68/99 de 11 de março. Neste contexto, foram identificadas nove Zonas Vulneráveis, emitidas na Portaria 164/2010, de 16 de março, e os respetivos Programa de Ação aprovados pela Portaria 259/2012, de 28 de agosto (DGADR, 2016).



# 3

## TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA CONSUMO HUMANO

As massas de água subterrâneas apresentam geralmente uma boa qualidade, por outro lado qualquer que seja a origem da água destinada ao consumo humano carece de um tratamento prévio.

A seleção do processo de tratamento é uma tarefa complexa, já que depende das características da água bruta, dos requisitos (qualidade e quantidade) exigidos à água final, das condições físicas e económicas, da flexibilização do tratamento, do imperativo de reduzir o impacto ambiental (resíduos e energia consumida), e das características dos sistemas de distribuição (Brito *et al.*, 2010). No caso do tratamento de águas subterrâneas destinadas a consumo humano, a qualidade da água bruta captada, é um dos fatores cruciais na seleção destes processos. Por exemplo, estas são geralmente isentas de microrganismos patogénicos e com menores teores de matéria orgânica, mas podem conter elevados teores em sais dissolvidos, ferro, manganês e nitratos.

Em geral, os problemas qualitativos das águas subterrâneas podem ser associados com os parâmetros qualitativos agrupados em 3 grupos:

- (1) Parâmetros organoléticos: cor, turvação, cheiro e sabor;
- (2) Parâmetros químicos: dureza, ferro, manganês, nitratos, substâncias minerais tóxicas (arsénio, mercúrio, chumbo, etc.) e contaminantes antropogénicos (pesticidas, fungicidas, herbicidas e produtos farmacêuticos persistentes);
- (3) Parâmetros microbiológicos.

Convencionalmente no tratamento de águas para consumo humano utiliza-se um conjunto de operações e processos sequenciais, mas uma vez que alguns parâmetros problemáticos das águas subterrâneas são inter-associados, uma etapa de tratamento pode frequentemente resolver diferentes problemas. Por exemplo, baixos valores de pH promovem a precipitação e o aumento das concentrações de ferro e/ou manganês, causadoras de inconvenientes de cor, turvação e sabor. Assim, o tratamento para remoção de ferro/manganês é capaz de eliminar todos os restantes problemas. Contudo, outros problemas causados por contaminantes tóxicos ou antropogénicos são mais difíceis de serem resolvidos, cujas soluções possíveis são mais específicas e complexas. Estas situações devem ser analisadas e avaliadas não só em termos técnicos, mas também a nível económicos, pois os requisitos dos tratamentos podem traduzir custos e investimentos excessivos e desnecessários (AWWA, 1999).

Apesar das águas subterrâneas estarem associadas a um menor grau de contaminação e consequentemente implicarem um menor esforço no seu processo de tratamento, deve-se ter

sempre em consideração a utilização de produtos químicos, a formação de subprodutos de tratamento, a geração de lamas e os custos decorrentes da atividade operação, do consumo de recursos e destino final dos resíduos.

Os processos mais comuns de tratamento de água são vulgarmente classificados como processos físico-químicos e processos biológicos. Para águas subterrâneas os processos unitários físico-químicos são os mais adequados, incluindo:

- (1) Oxidação química com aplicação controlada de reagentes oxidantes tais como oxigénio, hipoclorito de sódio ou cálcio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, ou ozono que alteram quimicamente algumas substâncias indesejáveis na água tais como ferro, manganês, hidrogénio de enxofre, amónia, compostos orgânicos para eliminação posterior;
- (2) Coagulação-floculação com adição de coagulante inorgânico tal como sal de alumínio ou ferro que é acompanhada com ajuste de pH via doseamento controlado de reagente alcalina;
- (3) Decantação ou flutuação para remoção dos produtos, resultantes no tratamento químico, em forma de sólidos (flocos) decantáveis;
- (4) Filtração convencional através de meio filtrante que remove todos os sólidos em suspensos incluindo as partículas finas que causam a turvação nas águas;
- (5) Separação por membrana de micro- ou nano-filtração que elimina partículas de muito pequenas dimensões ou de osmose inverso que exclui iões e bactérias;
- (6) Adsorção com aplicação de adsorventes tais como carvão ativado e resinas de permutação iónica permitindo, respetivamente, remover com elevada eficácia de substâncias orgânicos dissolvidos tais como as toxinas de algas e iões indesejáveis;
- (7) Desinfeção química ou física que elimina os microrganismos patogénicos via adição dum dos desinfetantes químicos (equivalente aos oxidantes) ou doseamento de radiação ultravioleta.

A aplicação de soluções de tratamento é determinada pela qualidade de água que se pretende atingir e pelos objetivos estabelecidos pelas normas de qualidade. A compreensão das razões pelas quais ocorrem alterações da qualidade da água bruta é também muito importante, pois podem influenciar os níveis de tratamento exigidos e, por conseguinte, todo o processo de produção de água para consumo humano (Morais *et al.*, 2005).

Em resumo, para a seleção do processo de tratamento para uma determinada água subterrânea devem ter considerações de:

- (1) Objetivos de tratamento e as condições de consumo da água tratada;
- (2) Parâmetros problemáticos em questão e as possíveis soluções;
- (3) Dimensão (caudal de água) de tratamento,
- (4) Disponibilidade de recursos humanos técnicos e económicos para manutenção do sistema de tratamento;
- (5) Localização do sistema de tratamento a implementar.

### 3.1. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO

Um sistema de tratamento de água subterrânea destinada à produção de água com qualidade adequada para consumo humano pode incluir várias etapas de tratamento envolvendo diferentes tipos de equipamento, cuja seleção, combinação e dimensionamento são determinadas pelas condições anteriormente expostas. Regra geral, são indispensáveis duas etapas, nomeadamente, a filtração por meio filtrante fino e a desinfecção, devendo as mesmas ser incluídas no sistema, mesmo para a água que esteja aparentemente limpa, sem sinal de contaminação.

#### 3.1.1. TRATAMENTO FÍSICO

##### (1) Decantação

A decantação é um processo de separação sólido-líquido, onde as partículas em suspensão na água tendem a sedimentar por ação da gravidade e é utilizada para remover areias, matéria particulada e flocos químicos provenientes da coagulação-floculação. No tratamento de águas para consumo humano este processo tem como objetivo diminuir a concentração de sólidos suspensos, ou a carga, em filtros granulares localizados a jusante. Como resultado do processo sequencial destes elementos, os filtros podem ser operados de forma mais fácil e económica para produzir água filtrada de qualidade aceitável (AWWA, 1999). A eficiência da decantação varia de acordo com a natureza e concentração das partículas em suspensão, sendo a velocidade de sedimentação afetada pelo tamanho, forma e massa volúmica das partículas, bem como das propriedades físicas da água (Brito *et al.*, 2010). Os decantadores são equipamentos industriais normalmente de betão utilizados para esse efeito, mas em sistemas de pequena escala existe a alternativa de decantadores em aço inoxidável ou poliéster reforçado com fibra de vidro (PRFV).

Normalmente este processo não é utilizado no tratamento de águas subterrâneas. No entanto, em águas com elevadas concentrações de ferro (superior a 5 mg/L), a aplicação de tratamentos químicos promove a formação de partículas agregadas facilmente decantáveis. Outra variante da sua utilização é na correção da dureza (amaciamento) da água, onde habitualmente é feita pelo processo convencional de precipitação química, floculação e decantação.

##### (2) Filtração por meio granular

A filtração tem como objetivo a remoção de partículas em suspensão por passagem da água que as contém através de um meio poroso que as retém (filtro). Este processo físico é usado como método de afinação da qualidade da água, que tem como finalidade eliminar matéria suspensa que não tenha sido removida nas fases de coagulação, floculação e sedimentação, e ainda reduzir o número de microrganismos e, dependendo da natureza do meio, a remoção de cheiro, sabor e cor. Em certos casos, a filtração pode ser utilizada como operação de remoção primária de turvação, ou seja, pode ser destinada à filtração direta de uma água bruta (Alves, 2010).

A filtração em meio granular é realizada através de um leito de material granular, normalmente por camadas de areia de sílica (areia de rio) e também por meio filtrante de antracite, carvão ativado e areia mineral.

A filtração de água destinada ao consumo humano é realizada por dois tipos de filtro de areia, lento e rápido. Estes são distinguidos pela taxa específica de filtração, carga hidráulica superficial, também designada como velocidade de filtração, definida pelo caudal volúmico dividido pela área de superfície do filtro. Os filtros lentos são utilizados em águas com concentrações reduzidas de sólidos em suspensão, evitando a aplicação de produtos químicos a montante. Os filtros rápidos são mais comuns e operam sobre pressão e são aplicados com ajuda de coagulação, floculação e decantação (Cheng, 2014c).

No decorrer da operação da filtração o grau de penetração e acumulação dos sólidos no leito filtrante é apreciável, levando gradualmente ao aumento progressivo da perda de carga hidráulica, devendo esta ser eliminada através de lavagem. A remoção dos sólidos retidos e acumulados é feita através de lavagem em contracorrente com água pressurizada que pode ser apoiada pela introdução de ar comprimido ou por agitação mecânica superficial.

Visto que as águas subterrâneas apresentam uma qualidade elevada relativamente à turbidez e a contaminantes microbiológicos, apenas necessitam de tratamento devido a constituintes minerais que podem ser oxidados através da desinfecção e retidos com aplicação de filtros. Por outro lado, durante a captação da água dos furos podem ser introduzidas algumas matérias em suspensão, que deverão ser removidas através de uma pré-filtração. A filtração sob pressão pode ser utilizada para tratamentos de águas subterrâneas após a oxidação, para promover a remoção de ferro e manganês (AWWA, 1999).

### **(3) Filtração por outros meios filtrantes**

A filtração mediante meios filtrantes especiais inclui filtros de cartucho e filtros de membrana. Os filtros de cartucho são normalmente aplicados no tratamento de água de consumo ou águas residuais industriais e podem ser do tipo lavável ou descartável. Na produção de água para consumo, a aplicação de filtros de membrana pode ser do tipo membrana de osmose inversa e membrana de filtração (microfiltração, ultrafiltração ou nanofiltração) (Cheng, 2014c).

Os filtros de osmose inversa são especialmente utilizados para a remoção de sólidos dissolvidos e compostos iónicos, incluindo a dessalinização, e para produção de elevadas quantidades de água doce a partir de água salgada, exigindo pressões muito elevadas na ordem de 50 bar (Cheng, 2014c).

Os filtros de outros tipos de membrana são caracterizados pelo seu diâmetro ou dimensão de poro, impostos pelas partículas retidas no meio membranar como o daquelas que o atravessam, e pela pressão aplicada. A aplicação de suportes porosos é muito diversificada em termos de permeabilidade e seletividade, podendo ser constituída por materiais poliméricos, cerâmicos ou metálicos, por um tecido ou fibra sintética (Brito *et al.*, 2010; Cheng, 2014c).

A operação de filtros de membrana deve igualmente ser acompanhada por processos de lavagem, para evitar potenciais entupimentos e danificações das membranas, causado pela acumulação de precipitados de sais e depósitos de óxidos metálicos na superfície, pela adesão de microrganismos (“*biofouling*”) e pela polarização da concentração (Brito *et al.*, 2010; Cheng, 2014c).

Nas águas subterrâneas a utilização de filtros de membranas opera bem em escalas reduzidas, permitindo filtrar água sem a necessidade de adição de coagulantes e floculantes, que poderiam alterar as propriedades químicas da água para consumo e refletir a necessidade de operações complementares. A microfiltração é um exemplo pois está associada a grandes quantidades de instalação de tubagens e válvulas, para interconectar um grande número de módulos, o que não é viável para instalações de grandes dimensões (AWWA, 1999). Por outro lado, estes meios estão associados a elevados custos de manutenção de limpeza e estão limitados pelo declínio do fluxo verificado ao longo do tempo devido à colmatação, refletindo-se numa menor produção de água tratada (Alves, 2010; Cheng, 2014c).

#### **(4) Desinfecção física**

A desinfecção física de uma água tem como objetivo a inativação e eliminação dos organismos patogénicos. Existem vários agentes físicos como o calor (tratamento térmico por fervura), meios mecânicos como a filtração por membrana de osmose inversa e o mais comum e eficaz através de radiação ultravioleta (UV).

A desinfecção física com recursos a radiação UV é realizada num amplo espectro com um comprimento de onda entre 250 a 270 nm, pois oferece um maior poder de destruição para uma ampla gama de agentes patogénicos, incluindo bactérias, vírus e protozoários, por vezes resistentes a desinfetantes químicos, como o cloro. Adicionalmente apresenta a vantagem de não introduzir substâncias químicas na água, responsáveis pela formação de subprodutos da desinfecção. Contudo, a sua aplicação é limitada em zona logo antes do consumidor, pois não apresentam poder de desinfecção ao longo do percurso do abastecimento (Cheng, 2014b).

A aplicação de radiação UV nas águas subterrâneas representa uma técnica economicamente mais favorável para desinfecção de águas que apresentem poucos sólidos suspensos e, em sistemas de pequenas dimensões devido ao elevado consumo de energia. Durante a utilização desta operação é necessário ter-se em consideração as características físicas e químicas da água que podem afetar a eficiência da desinfecção por UV, nomeadamente os tipos de microrganismos, as condições hidráulicas (grau de turbulência e tempo de contacto), a presença de turvação, sólidos suspensos ou flocos (responsáveis pela formação de depósitos) que podem absorver e impedir a passagem da radiação UV na água. A eficácia do processo de desinfecção é garantida através da intensidade de radiação UV e pelo tempo de exposição da água a esta intensidade, designada dosagem de reação (Cheng, 2014b).

#### 3.1.2. TRATAMENTO QUÍMICO

##### **(1) Oxidação química**

A oxidação química desempenha um papel muito importante no tratamento de água para consumo, ao transformar substâncias indesejáveis noutras formas inofensivas ou mais facilmente elimináveis. Os oxidantes químicos são utilizados para a oxidação de espécies inorgânicas reduzidas como ferro (Fe (II)); manganês (Mn (II)) e o sulfeto de hidrogénio ( $\text{HS}^-$ ), também na redução de substâncias orgânicas tais como ácidos húmicos que causam cor, contaminantes químicos tais como fenóis e cianetos responsáveis por sabores e toxinas provenientes de algas (AWWA, 1999; Cheng, 2014d).

Os principais produtos que permitem a oxidação são o oxigénio e na desinfecção química o cloro, hipoclorito, ozono, dióxido de cloro, peróxido de hidrogénio, permanganato de potássio, iodo e bromo. Por outro lado, a aplicação de cloro ou hipoclorito pode resultar na formação de subprodutos, como organocloradas, que são extremamente indesejáveis para saúde humana, mesmo em concentrações muito baixas. O ozono é o oxidante mais eficaz para a eliminação de cheiro e sabor causado por substâncias orgânicas derivadas do metabolismo microbial (algas), mas também está associado à formação de subprodutos como o brometo (Cheng, 2014d).

No que respeita ao tratamento de águas subterrâneas, apenas em alguns casos existe a necessidade de uma pré-oxidação para remoção de ferro e manganês, que serão posteriormente removidos por processos de sedimentação ou filtração (Cheng, 2014d). O ferro de forma bivalente é muito ativo podendo ser fácil e rapidamente oxidado com o oxigénio molecular ou outro agente oxidante, como hipoclorito, sendo transformado em Fe (III) cuja combinação com hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) da água forma  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  insolúvel. O processo de oxidação química do manganês é muito semelhante ao

do ferro, embora o precipitado de manganês oxidado seja principalmente  $MnO_2$ . Contudo, a velocidade da reação é muito lenta para valores de pH inferiores a 9,5 e a reação é do tipo autocatalítica devido à adsorção de  $Mn(II)$  pelo  $MnO_2$  formado, acelerando a oxidação de  $Mn(II)$  (Cheng, 2014d).

Quando se utilizam oxidantes além do oxigênio, as reações são mais complexas que as reações acima indicadas, uma vez que outros fatores como pH, alcalinidade, potência redox, temperatura e presença de material orgânico podem afetar o processo de oxidação (Cheng, 2014d).

Em resumo, a aplicação da oxidação química em materiais orgânicos e inorgânicos para purificação de água é limitada pelos seguintes critérios:

- A oxidação química deve ser seguida por tratamento que remova os derivados da reação;
- A oxidação química pode ser aplicada como a última etapa de tratamento de água potável, ou seja, a desinfecção.

## **(2) Adsorção e permutação iônica**

O objetivo da adsorção e permuta iônica, num sistema de tratamento de água para consumo humano, é a remoção de substâncias orgânicas em solução que refletem perturbações organoléticas (*e.g.*, cor, odor e sabor), transferindo-as respetivamente para o adsorvente ou para resina. Estes processos permitem ainda a remoção de contaminantes orgânicos persistentes (hidrocarbonetos, organofosforados, entre outros) (Brito *et al.*, 2010).

O processo de adsorção pode ser aplicado no tratamento de água para amaciamento, com resina de permutação, e remoção de sabor ou cor, com carvão ativado ou óxidos de alumínio. A adsorção ocorre até que se atinja um equilíbrio dinâmico entre a concentração do soluto na interface e na solução. Após equilíbrio a temperatura constante, a massa de soluto adsorvido por massa de adsorvente é função da concentração de soluto em solução (Brito *et al.*, 2010). No tratamento de água a aplicação de carvão ativado permite a adsorção de substâncias orgânicas dissolvidas, pesticidas e algumas substâncias inorgânicas, presentes na água, como o cloro, arsénio, crómio, entre outros (Alves, 2010). A permuta iônica permita a eliminação de determinados iões da água, por troca reversível e estequiométrica com outros iões do mesmo sinal presentes na chamada resina permutadora. As resinas são classificadas, de acordo com a carga desses iões móveis, em resinas catiónicas (permutam catiões) ou resinas aniónicas (permutam aniões).

A remoção de nitratos das águas subterrâneas com recurso a resinas aniónicas é também frequentemente usada, através da aplicação de filtros de permuta iônica, que permitem a retenção de nitratos nas resinas permutadoras no seu interior promovendo a desnitrificação (Brito *et al.*, 2010).

## **(3) Coagulação-floculação**

Os processos de coagulação e floculação são geralmente os primeiros processos numa sequência de tratamento de água, e tem como objetivo promover a agregação de coloides em suspensão, para que possam ser removidas pela decantação e filtração. A coagulação é um processo que tem por objetivo desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração, através da ação de uma mistura rápida e dispersão de produto químico. A floculação é uma operação que promove o contato, através de uma mistura lenta, das partículas desestabilizadas e agregação de flocos, facilmente sedimentáveis (Alves, 2010).

Os coagulantes podem ter natureza inorgânica, como os sais de alumínio e ferro, ou orgânica como os polielectrólitos e compostos capazes de conferir a alcalinidade necessária à coagulação,

como cal, hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio. Os floculantes, também designados adjuvantes da coagulação são classificados quanto à sua natureza (minerais ou orgânicos), origem (sintéticos e naturais) ou carga elétrica (aniónicos, catiónicos ou não iónicos) (Alves, 2010).

A otimização desta operação é previamente determinada em meios laboratoriais com recurso a ensaios “*Jar-Test*”, onde são determinadas as condições ótimas das dosagens, de pH, a agitação e respetivo tempo de agitação (Alexandre *et al.*, 2005).

A aplicação deste processo no tratamento de águas subterrâneas não é comum, por representarem processos de tratamento complexos, e apesar de poderem ser aplicados a uma escala fisicamente inferior, os custos de equipamento e a necessidade de operadores especializados, por vezes tornam estes métodos impraticáveis (Alves 2010).

#### **(4) Desinfeção química**

A desinfeção é o tratamento mais importante a que uma água deve ser sujeita, mesmo nos casos em que exista uma garantia de qualidade microbiológica. A desinfeção química é uma operação concebida para a redução do número de microrganismos, que consiste na desativação de todos os microrganismos causadores de doenças (patogénicos). A existência de cloro residual previne a o reaparecimento de alguns organismos patogénicos no sistema de distribuição (AWWA, 1999).

A desinfeção pode ser efetuada através de mecanismos químicos utilizados como: cloro gasoso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e dióxido de cloro ou dadores de oxigénio tais como: permanganato de potássio, água oxigenada e ozono (ERSAR, 2007).

A atuação do desinfetante é influenciada pelo tempo de contacto, pela concentração, intensidade, natureza e tipo de agente químico; pela temperatura; pelo número e tipo de organismos; pela natureza do líquido de suporte; pelos sólidos suspensos e matéria orgânica, que retardam o efeito desinfetante; e pelo pH (Brito *et al.*, 2010).

O processo de desinfeção com cloro, designado como cloragem ou cloração, reage rapidamente com a alcalinidade da água, onde o efeito desinfetante do ácido hipocloroso é mais acentuado que o dos iões hipoclorito, designado como cloro residual livre. Na presença da amónia, o hipoclorito pode reagir com esta e formar cloraminas, designadas como cloro residual combinado (Cheng, 2014d). O consumo e transformação de hipoclorito na água em função de substâncias oxidáveis é representado pela cloragem ao “*break-point*”. Problemas de formação de subproduto podem comprometer a qualidade da água para consumo humano.

No tratamento de águas subterrâneas emprega-se normalmente dois processos de desinfeção, a desinfeção primária e a secundária. A desinfeção primária atinge um nível desejável de eliminação ou inativação dos microrganismos ao passo que a desinfeção secundária assegura a manutenção de um teor de residual de desinfetante na água tratada, de modo a prevenir o desenvolvimento de microrganismos no sistema de distribuição.

A desinfeção por ozono não é uma prática comum em Portugal, embora este seja utilizado para pré-oxidação de água bruta, principalmente pelo facto da água desinfetada por ozonização não possuir o efeito residual de desinfeção e também por poder reagir com o bromato e matéria orgânica e formar subprodutos (Cheng, 2014d). Devido aos custos de equipamento, à necessidade de operadores especializados e a critérios de segurança, este método é impraticável em processos de escala reduzida.

### 3.2. EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO

A definição do tamanho do sistema e a complexidade do tratamento é muito importante nos sistemas de tratamento mais pequenos, devido à disponibilidade e acesso a serviços e reparações de equipamentos que implicam considerações de tempo e distância. Os processos de tratamento de água e equipamentos selecionados devem representar soluções científicas e tecnologicamente bem fundamentadas, e economicamente vantajosas para resolver problemas de qualidade da água. A adaptabilidade do tratamento automático pode representar uma vantagem na gestão juntamente com a conjugação da monitorização remota dos processos (AWWA, 1999).

#### 3.2.1. EQUIPAMENTOS ELETROMECAÑICOS E METALOMECAÑICOS

Um sistema de abastecimento é constituído por um conjunto de equipamentos eléctricos e eletromecânicos, acessórios, instrumentação e equipamentos de automação e controle, que desempenham um fator determinante na distribuição de água e no doseamento de produtos químicos.

##### (1) Bomba centrífuga de água

As bombas centrífugas, devido à sua versatilidade e baixo custo, são utilizadas extensamente em sistemas de tratamento de água. Uma instalação que trata água subterrânea pode incluir uma bomba de captação, uma de circulação e uma de pressurização.

As bombas são máquinas de funcionamento radial ou misto e podem ser de vários tipos em função da constituição do impulsor, do trajeto do fluido e da configuração do corpo da bomba.

Para captação de água subterrânea a partir de furos, bombas submersíveis especiais (Figura 3.1) são aplicadas, tendo características de pequenos diâmetros para inserção no furo e múltiplo estágio de turbina para alturas elevadas de bombagem. No caso da água tratada a utilização de bombas submersíveis não é recomendada, devido à possível contaminação grave.

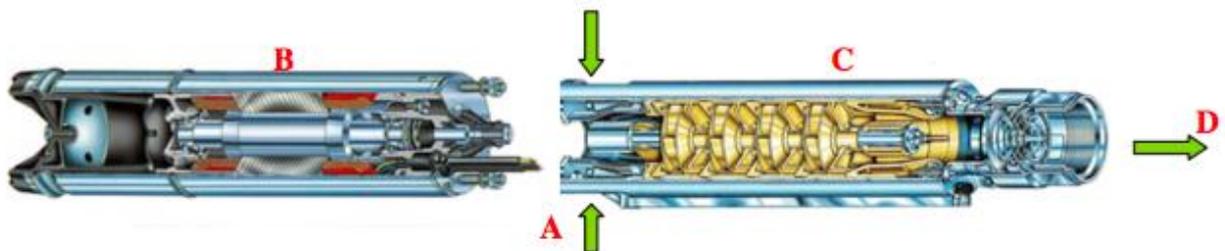


Fig.3.1 – Bomba submersível para captação de água subterrânea de furo vertical: (A) Entrada, (B) Motor elétrico, (C) Impulsor multicelular, (D) Saída. (Fonte: CAPRARI pumps em Cheng, 2014e)

A circulação de água tratada é uma prática frequentemente adotada de modo a evitar estagnação nos reservatórios e ajudar a manter uma qualidade uniforme desejável. Normalmente este tipo de bomba (Figura 3.2a) é do eixo horizontal equipada com apenas uma turbina para alturas manométricas de elevação inferior a 8 m.

A pressurização de água tratada com caudal pequeno ou médio, mas pressão elevada pode ser realizada através da aplicação de bombas centrífugas equipadas com impulsores radiais de multi-estágio e eixos verticais ou horizontais com instalação seca (Cheng, 2014e). A pressão de água tratada disponibilizada na rede de abastecimento deve ser mantida entre as 2 e 4 bar (EPAL, 2011). Consequentemente, bombas do tipo média pressão com eixo vertical (Figura 3.2b) são mais adequadas para esta aplicação.



Fig.3.2 – Bomba centrífuga: a) eixo horizontal, b) eixo vertical. (Fonte: GRUNFOS)

## (2) Bomba doseadora de solução química

As bombas doseadoras de solução química utilizadas em tratamento de água devem incluir duas funções fundamentais: caudal regulável e controlo automático. De acordo com as características químicas da solução a dosear, diferentes materiais de construção devem ser identificados e selecionados. Em geral uns sistemas de doseamento de solução química podem incluir três componentes:

- (1) Depósito de solução e válvula de aspiração/retenção,
- (2) Bomba doseadora,
- (3) Válvula de injeção/anti-retorno.

O tipo mais comum de bomba doseadora de pequenas capacidades são do tipo de membranas com atuação monitorizada ou eletromagnética (Figura 3.3), que pode ser dividido em duas partes: (1) o mecanismo de atuação e regularização e (2) a “cabeça” onde reside a membrana com 2 válvulas de anti-retorno (uma para o lado de sucção e a outra compressão). A regularização do caudal deste tipo de bomba é efetuada pela combinação da distância de deslocalização da membrana, que altera o volume unitário de doseamento e, pela frequência de deslocação da membrana, que determina o caudal unitário de doseamento. Ambos os reguladores são indicados por 0 – 100% que pode ser convertida para caudal após calibração em campo.



Fig.3.3 – Bomba doseadora tipo membrana com atuação monitorizada. (Fonte: EMEC)

Para o doseamento de soluções químicas exigindo controlo rigoroso automático, tal como adição de oxidante, coagulante, floculante e desinfetante a utilização das bombas doseadoras são equipadas com circuitos eletrónicos para receção de sinais de controlo emitidos por controladores

tais como medidores de caudal e analisadores de pH, cloro residual, potência redox, entre outros (Cheng, 2014e)

A integração deste equipamento em instalações com reservatórios de água, devem ser avaliados para garantir a manutenção da qualidade da água. Nestes casos é sempre recomendada a instalação de equipamentos de reforço de cloração, uma vez que a jusante do reservatório existe normalmente redes extensas e o tempo de retenção da água dependerá da utilização (EPAL, 2011).

### (3) Válvulas automáticas

As válvulas automáticas são empregadas em pequenos sistemas de tratamento para regular o caudal, reduzir pressão e controlar perdas de carga. As válvulas podem ser do tipo eletromagnético solenoide e pneumático. As válvulas automáticas com atuação eletromagnética são geralmente utilizadas em tubagem de água limpa (sem sólidos suspensos) de pequenas dimensões. Cada um deste tipo de válvula (Figura 3.4) consiste em duas partes: o corpo da válvula (do tipo borboleta ou esfera) e o atuador. O obstrutor de válvula, normalmente em forma de disco, possui um eixo que com a força eletromagnética permite movimento correspondente a abrir ou fechar a válvula. O movimento contrário à ação atuada, ou seja, o retorno, é através duma mola. Portanto este tipo de válvula deve ser identificado como normalmente “fechada” ou “aberta”.



Fig.3.4 – a) Válvulas eletromagnéticas do tipo solenoide, b) Válvulas pneumáticas. (Fonte: DANFOSS)

A aplicação de válvula eletromagnética também é utilizada como um “piloto” para controlo da passagem dum fluído de alta pressão servindo como uma força motriz, que subsequentemente controle o movimento de outra válvula automática mecânica, *e.g.* uma válvula equipada com atuador pneumático ou mecânico (Figura 3.5). Uma vez que válvulas eletromagnéticas apresentam ações de fechar ou abrir, um tempo muito curto de corte pode causar choque hidráulico muito indesejável, causando vibração violenta e ruído com possível danificação da tubagem. Portanto, medições devem ser tomadas para prolongamento o tempo de movimento de fechar e/ou reforça da instalação da tubagem em questão.



Fig.3.5 – Válvula piloto. (Fonte: FLUIDAC e DANFOSS)

Para maiores diâmetros de tubagem válvulas automáticas são do tipo com atuadores de motor-reductor que permite ação não só abrir ou fechar, mas também regularizar o grau de abertura. As

válvulas mais comuns que permitem instalação de atuadores motorizados são dos tipos de cunha, de borboleta e de membrana (Figura 3.6).

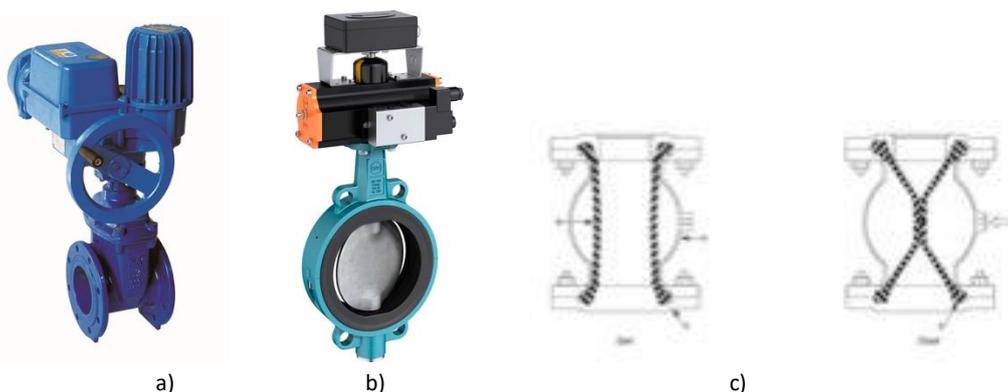


Fig.3.6 – a) Válvula do tipo cunha com atuador motorizado (Fonte: AVK), b) Válvula de borboleta com atuador pneumático (Fonte: EBROARMATUREN), c) Válvula de membrana com atuação direta por ar comprimido (Fonte: DOSAPRO).

### 3.2.2. UNIDADES DE TRATAMENTO E INSTALAÇÕES DE APOIO

Embora existam unidades de tratamento de água que são construídas *in-situ*, unidades de dimensões pequenas são mais vantajosas utilizar unidades pré-fabricadas.

#### (1) Filtros com meio filtrante granular natural

Como foi referido anteriormente a filtração através de um leito granulado natural (filtração profunda), normalmente é constituído por camadas de areia e/ou antracite. A escolha do material filtrante deve ser baseada nas características da água bruta, no tamanho dos grânulos, na eficácia de lavagem, assim como na qualidade e quantidade de água a produzir.

A classificação dos filtros pode ter em conta o tipo de operação (contínua, semi-contínua), o tipo de meio filtrante utilizado (monocamada, duas ou mais camadas, meios mistos), o sentido do fluxo da água durante a filtração (ascendente, descendente), o processo de lavagem por retorno (ar, água, ar e água), o método de controlo do caudal (filtros de pressão, filtros de gravidade) e a taxa de filtração (filtros lentos, filtros rápidos) (Brito *et al.*, 2010).

Em sistemas de reduzidas dimensões a aplicação de filtros sob pressão em meios de profundidade podem representar mecanismos eficientes para remover partículas e reduzir turvação.

Na filtração sob pressão o material de enchimento situa-se no interior de cilindros metálicos fechados, e a água é injetada sob pressão e distribuída uniformemente sobre o meio filtrante (Figura 3.7) (Alves, 2010). Este sistema utiliza a chamada “árvore” de drenagem, que consiste num tubo central e vários laterais (ou ralos filtrantes com ranhuras verticais), para recolher a água filtrada e distribuir a água de lavagem (Cheng, 2014c).

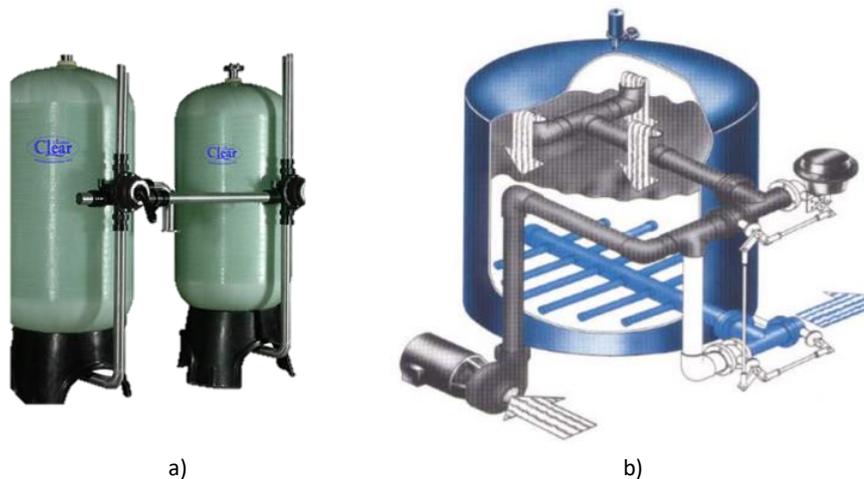


Fig.3.7 – Filtros sob pressão com meio filtrante granular. (Fonte: a) SHIVSU, b) PEPFILTERS)

Em seguida, os sólidos suspensos são removidos pelo leito filtrante e o caudal de água limpa passa pelo sistema de drenagem de recolha. Quando a queda pressão atinge um valor limite procede-se a operações de lavagem, garantidas por inversão do sentido do escoamento. Neste processo, a água é introduzida pelos sistemas de drenagem através de um caudal elevado e a alta velocidade, que permita a expansão do leito, libertando os materiais colmados. Todo este circuito hidráulico é equipado e controlado com o auxílio de válvulas ligadas mecanicamente e operadas de forma pneumática ou eletricamente, que controlam a direção do fluxo (PEPFILTERS, 2004).

## (2) Filtros com meio filtrante artificial de forma cartucho

A utilização de filtros por cartuchos é aplicada ao tratamento de águas de origem com alta qualidade. O método de filtração sobre suporte (filtração à superfície) é efetuado através de um material filtrante introduzido no início de cada ciclo de operação, formando uma camada porosa sobre o suporte fixo.

Em sistemas de pequenas dimensões, estes processos são uma solução prática e vantajosa a nível económico. No entanto, a sua utilização é limitada em águas com níveis baixos de contaminação e substâncias dissolvidas, não sendo adequada a sua aplicação na presença de coagulantes químicos. Por outro lado, águas com turbidez elevada podem levar ao desgaste prematuro dos filtros.

Os filtros por meio de cartucho (Figura 3.8) apresentam uma ampla variedade e a sua aplicação é muito versátil para vários tipos de meios filtrantes: desde filtros finos (5-20  $\mu\text{m}$ ) a filtros grossos (50-200  $\mu\text{m}$ ) de fibra sintética; filtros de pré-oxidação de aço inoxidável; filtro de segurança para membranas e resinas; de purificação; ou filtro de adsorção com carvão ativado. Dependendo do meio filtrantes, os filtros podem ser laváveis ou apenas substituídos.



Fig.3.8 – Filtração com meio filtrante artificial de forma cartucho. (Fonte: VIQUA)

### (3) Filtros de adsorção

O objetivo da adsorção em carvão ativado, num sistema de tratamento de água para consumo humano, é a remoção de substâncias orgânicas dissolvidas em solução, responsáveis designadamente por perturbações organolépticas (cor, cheiro ou sabor).

O carvão ativado é comercializado em pó (CAP) ou na forma granular (CAG). No tratamento de água potável a adição de CAP é acompanhada por mistura e realizada a montante da filtração. O carvão usado é rejeitado conjuntamente com as águas sujas de lavagem, aumentando significativamente a produção de lamas (Cheng, 2014a). Embora mais caro, o CAG é aplicado em filtros gravíticos ou sob pressão, oferecendo melhores características hidráulicas e a possibilidade de regeneração. Por outro lado, os processos de regeneração estão associados a elevados consumos de energia térmica, tornando economicamente viável apenas para grandes quantidades (Cheng, 2014a). A sua utilização implica a necessidade de instalações fixas e a sua operação é idêntica à do filtro de areia, ou pode ser aplicado com recurso a meios filtrantes de cartucho (Figura 3.9). Como os processos de adsorção permitem a redução de compostos orgânicos tais como cloro e derivados do cloro a instalação dos filtros de carvão ativado deve ser realizada a montante da desinfecção.



Fig.3.9 – Filtração com meio filtrante de carvão ativado. (Fonte: 3M)

### (4) Unidade de desinfecção UV

O sistema de desinfecção com radiação UV tem uma grande vantagem na desinfecção da água para consumo humano, ao não adicionar agentes químicos, nem formar produtos indesejáveis.

Durante a aplicação deste processo físico, a fonte de radiação UV de desinfecção é garantida por lâmpadas de vapor de mercúrio e cheias com gás argon, revestidas com tubos de proteção em vidro de quartzo. As lâmpadas podem ser classificadas em média ou baixa pressão. Em pequenos sistemas de tratamento e, na desinfecção de pequenos volumes de água, aplicam-se lâmpadas UV de baixa pressão que funcionam a temperaturas entre 30 e 50 °C. A eficácia de conversão de energia deste tipo de lâmpada pode atingir 35% com emissão de radiação principalmente a 254 nm e, a sua vida útil é da ordem das 8000 horas. Atualmente existem lâmpada designadas por amálgamas (ligas de mercúrio e índio) com características praticamente iguais às da lâmpada de baixa pressão, mas que permitem uma emissão a temperaturas entre 80 e 100 °C (Figura 3.10) (Cheng, 2014b).



Fig.3.10 – Lâmpadas de radiação UV amálgama. (Fonte: TROJANUV)

Normalmente são utilizadas unidade fechadas (câmaras) de desinfecção constituídas em chapa de aço inoxidável, onde são aplicadas as lâmpadas e por onde passa a água a desinfetar. Este sistema é complementado com um painel de controlo que comanda e monitoriza a intensidade de radiação,

as horas de funcionamento, número de arranques, temperatura das lâmpadas, consumo de eletricidade, etc (Figura 3.11) (Cheng, 2014b).



Fig.3.11 – Unidade fechada de desinfecção UV para sistemas de pequenas dimensões e painel de controlo. (Fonte: TROJANUV)

Visto que as lâmpadas UV exigem limpeza de manutenção para remover depósitos minerais ou biofilmes, alguns sistemas de desinfecção encontram-se equipados com mangas de limpeza (Figura 3.12), que podem operar de modo automático sem interromper a desinfecção. Estes mecanismos de limpeza são caracterizados por um “garfo” de aço inoxidável, que podem ser conduzidos manualmente ou de modo automático com intervalos predefinidos (TROJANUV, 2017).



Fig.3.12 – Mangas de limpeza operacional das lâmpadas UV. (Fonte: TROJANUV)

Para além dos mecanismos de limpeza, os sistemas de desinfecção UV exigem um conjunto de equipamentos para o correto funcionamento e manutenção, como os sensores de intensidade UV (Figura 3.13a) que monitorizam a radiação UV à saída da câmara, o balastro (transformador, capacitor e ignitor) eletrónico ou eletromagnético para arranque e estabilização da lâmpada UV (Figura 3.13b) e um medidor de transmitância ou turvação da água a desinfetar para determinar a eficácia da desinfecção por radiação UV (Cheng, 2014b).



Fig.3.13 – a) Sensores de intensidade UV, b) Balastro eletrónico. (Fonte: TROJANUV)

## (5) Ozonizador

Os ozonizadores são sistemas de tratamento projetados para produzir e gerar certas quantidades de ozono, necessárias para a desinfecção da água. Este processo é ideal para a remoção de cheiro e sabor, bem como na oxidação de ferro e manganês. Um sistema de ozonização é caracterizada por vários componentes: o gerador de ozono (Figura 3.14a), por uma bomba de ar, pelo sistema de injeção, tanque de contacto, difusor, destruidor de ozono (Figura 3.14b), sistemas de aviso, bem como por todas as válvulas e instrumentos de monitorização necessários.

O ozono é um gás instável e altamente reativo, e pode ser gerado através de uma corrente de ar ou oxigénio, através da irradiação ultravioleta ou a partir de descarga elétrica. No primeiro método as moléculas, sujeito à ação da radiação, são separadas em átomos de oxigénio e combinam-se para formar ozono. No segundo o ozono é gerado a partir da passagem de uma corrente de ar ou oxigénio puro, entre 2 elétrodos de descarga, sujeitos a uma diferença de potencial. A produção de ozono através de oxigénio puro, apresenta a vantagem de resultar numa concentração mais elevada de ozono com um menor gasto de energia elétrica, mas estão associados elevado custo do oxigénio puro (Alves, 2010; Cheng, 2014d). Para o apuramento da necessidade de ozono, todo o sistema pode ser complementado com medidores de potencial redox, que permitem medir e regular o controlo da produção de ozono por parte do gerador.

Os difusores são elementos que promovem a dispersão e a mistura adequada do ozono com a água e, podem ser caracterizados por pequenos furos onde passam as bolhas de ozono.

Do processo de ozonização pode resultar ozono residual, que é encaminhado para a unidade de destruição de ozono. A destruição do excesso de ozono pode ser efetuada por meios térmicos, químicos ou usando um catalisador. As unidades de destruição térmica aumentam a temperatura do *off-gas* para um nível onde a semi-vida do ozono é reduzida e nas unidades catalíticas a taxa de decaimento da molécula de ozono é acelerada na superfície do catalisador, convertendo-o a oxigénio (OZONIA, 2012).



a)



b)

Fig.3.14 – a) Gerador de ozono, b) Destruidor de ozono. (Fonte: OZONIA)

Apesar deste sistema permitirem atingir um tratamento ótimo da água, muitos vezes está associado a altos custos de investimento e a durante a sua utilização é necessário ter-se em consideração um conjunto de medidas de segurança.

### (6) Depósito (Reservatório) equipado com membrana e ar comprimido

Os depósitos equipados com membrana são instalações hidráulicas com ar comprimido, fundamentais em qualquer sistema de bombagem e, apresentam uma variada gama de aplicações. Estes elementos permitem estabilizar o funcionamento hidráulico do sistema, reduzindo as paragens e arranques das bombas e, aumentando o tempo de vida útil do sistema de bombagem. Normalmente estes elementos são compostos por chapa, aço inox e fibra de vidro, sendo resistentes e anticorrosivos (Figura 3.15).



Fig.3.15 – Depósitos de membrana com ar comprimido. (Fonte: GRUNDFOS)

Os depósitos podem ser do tipo autoclave e serem equipadas com um pressostato (interruptor de pressão) e um manómetro, ou com controladores automáticos de pressão, válvulas de secionamento e válvulas de descompressão (Figura 3.16). O pressostato funciona como um elemento de segurança das bombas de água, ao assegurar que quando são atingidas pressões demasiadas elevadas a bomba seja desligada, impedindo a rutura dos restantes elementos do sistema. Os dispositivos com controlo automático controlam o arranque das bombas e medem em simultâneo a pressão e o fluxo de água, permitindo arrancar e parar a eletrobomba quando se abre e fecha uma torneira (HIDRAULICART, 2015). As válvulas de descompressão, associadas a estes elementos são programadas para abrir ao atingir a pressão máxima de funcionamento do depósito ou abaixo da mesma, protegendo o depósito e os restantes componentes do sistema.

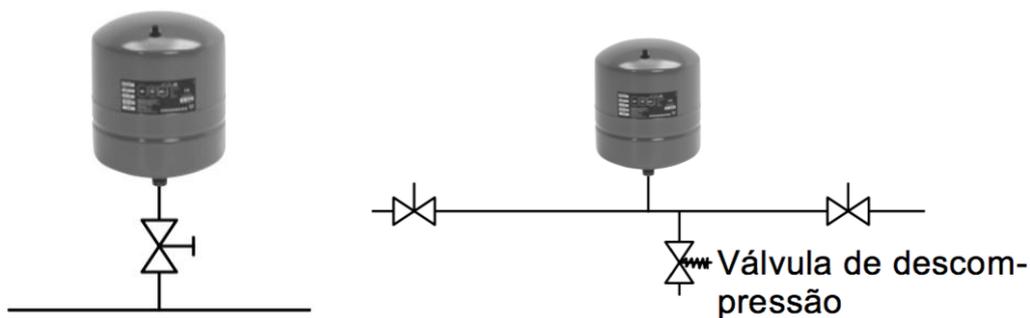


Fig.3.16 – Esquema válvula de secionamento e válvula de descompressão. (Fonte: GRUNDFOS)

Os depósitos são tipicamente pré-carregados de fábrica, com pressões ajustadas de acordo com a aplicação em causa e a bomba instalada. Normalmente esta pressão deve ser ligeiramente inferior ao valor de arranque da bomba configurado.

### 3.2.3. INSTRUMENTO

Nos sistemas de tratamento de água deve ser garantido uma monitorização e medição contínua, em tempo real, dos principais parâmetros da água, para acompanhar o correto funcionamento de todo o sistema. Para tal, recorre-se à utilização de instrumentos de medição que são caracterizados por equipamentos informáticos, dispositivos para medição contínua de caudal, pressão, temperatura, pH, nível de água, nível de sólidos, turvação, vibração, humidade, entre outros, capazes de emitir sinal em corrente e proceder ao respetivo registo eletronicamente. O registo de dados através de dispositivos eletrónicos facilita o armazenamento e o processamento de dados, reduz significativamente a mão-de-obra e os erros humanos durante as medições, sendo mais fiável e economicamente vantajoso.

#### (1) Medidor/controlador de cloro residual

Os controladores químicos asseguram a medição automática e contínua de cloro residual na água, por forma a garantir a correta desinfecção (Figura 3.17). Para além do cloro, estas unidades podem ser aplicadas no controlo de outros tipos de produtos químicos de desinfecção, nomeadamente o ozono.

Através deste elemento é possível programar e ajustar o limite de concentração pretendido na água, promovendo uma correta gestão da utilização de produtos químicos e a maximização da eficácia dos mesmos. Os controladores normalmente são equipados com recurso de segurança padrão que incluem um interruptor de fluxo, um temporizador de limite de alimentação e um sistema de alarme.



Fig.3.17 – Controlador químico automático de cloro residual. (Fonte: B&C)

#### (2) Medidor/controlador de pH

Os medidores ou controladores de pH são instrumentos essenciais nas práticas da desinfecção, ao permitirem o acompanhamento do valor do pH, durante a adição de produtos químicos na água (Figura 3.18). Estes dispositivos podem ser configurados para medir o pH e o potencial redox durante a instalação e podem ser controlados de modo manual ou automático.



Fig.3.18 – Controlador/medidor de pH. (Fonte: B&C)

Outra alternativa é a utilização de eléctrodos de medição de pH e células de fluxo que asseguram o contacto entre o sensor e a água (Figura 3.19).



Fig.3.19 – Eléctrodo de pH e célula de fluxo. (Fonte: B&C)

### (3) Medidor de caudal

A medição do caudal é um método essencial durante o controlo e acompanhamento do funcionamento de todo o sistema de abastecimento e dos respetivos dispositivos de utilização. A respetiva medição é realizada em modo contínuo através de sensores eletromagnéticos do caudal volumétrico e de unidades de transmissão (Figura 3.20). O acompanhamento da medição de caudal é um critério base como um parâmetro de dimensionamento.



Fig.3.20 – Medidor de caudal e transmissor. (Fonte: SIEMENS)

### (4) Contador de água

Os contadores são dispositivos de medição da água que devem ser integrados em todos os sistemas de abastecimento. Os contadores de água volumétricos (Figura 3.21a) são elementos que possibilitam o registo do volume da água, por passagem da água no seu interior, e permitem a estimativa dos consumos dentro das instalações. Existe uma ampla variedade de contadores, mas a sua instalação e localização deve obedecer às qualidades, características metrológicas (gamas de diâmetros, caudais e pressões) e condições de instalação estabelecidas pela legislação aplicável (EPAL, 2011).

Estes podem ser integrados com dispositivos de telemetria (emissores de impulso) (Figura 3.21b), que possibilitam a monitorização em tempo real e a deteção de anomalias, a recolha e armazenamento das leituras dos contadores para processamento dos consumos.



Fig.3.21 – a) Contador de água, b) Emissor de impulso. (Fonte: RESOPRE)

### (5) Medidor de turvação

Os medidores de turvação são instrumentos essenciais durante a desinfecção com radiação UV, ao permitirem a monitorização contínua da turvação e a deteção atempada de variações bruscas deste parâmetro (Figura 3.22). Estes aparelhos são equipamentos de grande precisão e com sensibilidade de baixo nível, e têm por base a medição de turvação apontando um laser à amostra, onde a quantidade de luz que dispersa as partículas suspensas, é proporcional à turvação.



Fig.3.22 – Medidor de turvação. (Fonte: HACH)

### (6) Medidor de pressão

O controlo das pressões na rede de distribuição de água deve ser igualmente acompanhado, de modo a garantir o cumprimento do Decreto-Lei nº 23/95 de 23 de agosto, referente ao Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (EPAL, 2011), assegurando-se assim, um caudal de água adequado e regular. Para tal, recorre-se à utilização de medidores de pressão que podem ter como princípio de medição a pressão manométrica e absoluta (Figura 3.23) ou seletoras.



Fig.3.23 – Medidor de pressão absoluta e manométrica. (Fonte: ENDRESS+HAUSER)

O princípio segundo a medição manométrica e absoluta, a pressão de operação desvia o diafragma de isolamento do processo (Figura 3.24) e um fluido de enchimento transfere a pressão para uma ponte de resistência (tecnologia de semicondutores). A variação dependente da pressão na tensão de saída da ponte é medida e avaliada (EH, s.d.).

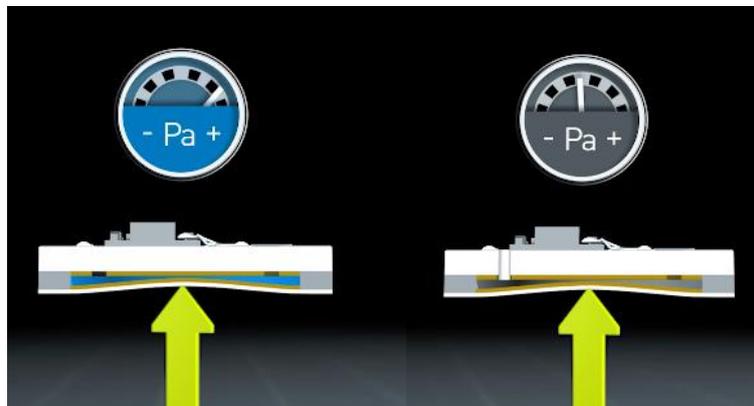


Fig.3.23 – Princípio de medição da pressão absoluta e manométrica. (Fonte: ENDRESS+HAUSER)

### (7) Medidor/controlador de nível

As medições de nível são práticas fundamentais para prevenir a ocorrência de falhas de água e evitar o funcionamento da bomba em seco. No caso de captações subterrâneas a monitorização do nível de água no furo pode ser garantida com recurso a controladores do tipo “boias” flutuadoras, conectados a pressostatos presentes no quadro elétrico de controlo (Figura 3.24).



Fig.3.24 – Medidor de nível e quadro de controlo. (Fonte: GRUNDFOS)

Em reservatórios de armazenamento de água, a monitorização contínua do nível pode ser realizada através de medidores de nível do tipo de contacto, sensores ultrassónicos ou de pressão hidrostática. Os medidores de nível ultrassónicos representam uma alternativa económica e adequada para situações onde não ocorram variações bruscas do nível da água (Figura 3.25).



Fig.3.25 – Medidor de nível ultrassónico. (Fonte: ENDRESS+HAUSER)

### 3.3. EXPLORAÇÃO DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE PEQUENAS DIMENSÕES

Apesar dos princípios das tecnologias de tratamento serem exatamente iguais entre sistemas pequenos e grandes, na parte de exploração existem discrepâncias notáveis. Nos pequenos sistemas, as instalações são de mais fácil acesso e requerem uma menor movimentação necessária para a manutenção, por outro lado, é indispensável a existência de equipamento em reserva ativa (*e.g.*, instalado, mas em *stand-by*) e de materiais de substituição em stock. Uma vez que na prática, todos os equipamentos e instalações podem ser colocadas dentro dum edifício, oferecendo um elevado grau de proteção contra condições atmosféricas adversas e vandalismo, a exigência de manutenção pode ser mais reduzida. Contudo, pequenos sistemas que não são utilizados constantemente podem sofrer desvantagens, devido a menores recursos para manutenção. Outro fator determinante na gestão dos processos de tratamento é a necessidade de uma equipa familiarizada com as ferramentas e técnicas, que facilitem a operação do sistema de tratamento com êxito.

#### 3.3.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

O desempenho de qualquer sistema de tratamento de água de abastecimento pode ser avaliado por diferentes aspetos, tais como: performance técnica, viabilidade económica e contribuição social. A avaliação técnica é realizada com medição periódica da eficácia de tratamento, através de recolha e análises de amostras de água e verificação da disponibilidade e do nível de manutenção dos equipamentos instalados. A viabilidade económica exige a análise dos custos de tratamento e deve ser considerada conjuntamente com a contribuição social. No presente estudo, apenas foi incluída a vertente da avaliação técnica.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio de 2007, os produtores de água para consumo humano nos sistemas de abastecimento particulares, são responsáveis pelas próprias captação, devendo cumprir todas as regras comunitárias e nacionais e apresentar o mesmo nível de desempenho e de qualidade da água, a que o serviço de abastecimento público está sujeito.

Os requisitos impostos à qualidade da água destinada ao consumo humano, encontram-se dispostos no Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, que estabelece os parâmetros e valores limites paramétricos e define os controlos e as frequências mínimas de amostragem, para a análise periódica da água produzida.

Existem 3 níveis de análise, designadamente controlo rotina 1 (CR1), do controlo de rotina 2 (CR2) ou do controlo de inspeção (CI), em que diferentes parâmetros são especificados e frequências mínimas de análise são estabelecidas. A periodicidade e frequência de análise é determinada pela capacidade de produção, pelos volumes diários distribuídos e pelas populações servidas. Os controlos de rotina têm como objetivo fornecer regularmente informações sobre a qualidade organolética e microbiológica da água, bem como a eficácia dos tratamentos existentes, especialmente a desinfeção, tendo em vista determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos. Os controlos de inspeção têm como objetivo fornecer informações necessárias para verificar o cumprimento dos restantes valores paramétricos.

A partir da análise dos resultados das amostragens será possível, por um lado, acompanhar a evolução da qualidade da água bruta, tratada e distribuída, e por outro, determinar a capacidade de remoção ou inativação dos contaminantes, nos diferentes processos de tratamento, sendo ainda possível identificar os pontos de controlo críticos do sistema (Meneia *et al.*, 2009).

### 3.3.2. MONITORIZAÇÃO OPERACIONAL

A garantia da qualidade da água para consumo humano está intimamente relacionada com o desempenho dos sistemas de tratamento e com a proteção da respetiva origem de água bruta.

Neste sentido, devem ser elaborados e implementados planos de monitorização consolidados que incluam a realização de análises dos parâmetros de controlo mais relevantes e disponham de informação suficiente e atualizada sobre as características da água bruta, de modo a acompanharem a evolução da sua qualidade. Para tal, recorre-se à utilização de instrumentos de medição e à monitorização online dos vários processos do tratamento, permitindo antecipar a deteção de potenciais problemas nos sistemas de tratamento e permitir uma breve atuação no sentido da sua prevenção (Morais *et al.*, 2005).

No caso das captações de origem subterrânea, o controlo da qualidade da água na origem deve ser realizado através de análises periódicas aos parâmetros pH, condutividade, bactérias coliformes e E. coli.

De acordo com as características da água, pode ser necessário controlar outros parâmetros como por exemplo: nitratos, azoto amoniacal, oxidabilidade, cloretos, ferro, manganês, arsénio, dureza, alcalinidade, cálcio, magnésio e sódio. O controlo analítico deve ainda ter por base o histórico obtido ao longo de dois anos hidrológicos consecutivos e ser progressivamente ajustado (Casimiro *et al.*, 2007).

Por outro lado, a garantia de um tratamento adequado, pode ser comprometida durante a distribuição da água no sistema de abastecimento. Assim, o desempenho de um sistema de tratamento vai depender da boa gestão desde da água de origem de captação, ao estado de conservação da rede de distribuição e reservatórios de armazenamento de água.

### 3.3.2. MANUTENÇÃO CORRETIVA E PREVENTIVA

Para assegurar que a qualidade da água para consumo humano cumpra os valores paramétricos, é vital que os sistemas de tratamento de água sejam adequadamente dimensionados, operados e mantidos. Deste modo, a sua manutenção deve ser acompanhada pela criação de planos sistematizados para a gestão da qualidade da água, através da elaboração de cadernos de instruções e guias de rotina. Estes cadernos de instruções e guias de rotina constituem importantes ferramentas de trabalho, onde se estabelece um conjunto de procedimentos de inspeção e verificação sistemáticas e periódicas, correspondentes a cada elemento do sistema de abastecimento e tratamento.

Deve-se ainda, integrar uma vertente técnica relacionada com a manutenção preventiva dos órgãos de tratamento mais relevantes, permitindo aos operadores detetarem e corrigirem deficientes funcionamentos típicos dessas unidades, antes que estes se transformem em problemas de maior dimensão (Casimiro *et al.*, 2007).

Para cada uma das etapas do processo de tratamento deve-se dispor de procedimentos escritos, de folhas de registo e checklist, para se manter atualizada todas as ações desenvolvidas no âmbito do controlo operacional.

Em função das características dos sistemas devem ser realizados e pré-definidos procedimentos, nomeadamente: verificações do funcionamento dos sistemas de alarme existentes (*e.g.*, associados a falhas das bombas ou a valores baixos e altos de cloro residual livre na água); calibração dos aparelhos e instrumentos; implementação de programas de limpeza e higienização (*e.g.*, dos reservatórios de armazenamento de água); garantir o armazenamento adequado de todos

os reagentes utilizados, de acordo com o especificado nas normas europeias; garantir a existência de equipamentos e procedimentos de segurança adequados aos locais de risco; garantir uma gestão de stocks adequada e dispor de peças de substituição; elaborar e implementar um plano de manutenção e conservação das captações; realizar a leitura do caudal captado e dos níveis hidrostáticos e hidrodinâmicos.



# 4

## CASOS DE ESTUDO

### 4.1. ENQUADRAMENTO

Tal como referido anteriormente, o objetivo deste trabalho incidiu na análise da qualidade da água para consumo humano em subestações da REN, que dependem de captações subterrâneas para o abastecimento de água.

O desenvolvimento de metodologias de trabalho e recolha de inventário é vital para o planeamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos, para avaliar a segurança do abastecimento e, ainda, para definir medidas de controlo e estratégias de investimento, quer seja a nível de sistemas de tratamento de água, ou na pesquisa de fontes alternativas de abastecimento.

No presente capítulo serão apresentadas as instalações que constituíram alvo de estudo e a metodologia de trabalho aplicada, que teve como objetivos:

- Enquadramento e caracterização das instalações;
- Avaliação da qualidade da água, através da identificação dos incumprimentos paramétricos e respetiva análise de causas associadas;
- Diagnóstico do funcionamento e desempenho das instalações com sistema de tratamento.

#### 4.1.1. REN – REDES ENERGÉTICAS NACIONAIS

A REN é uma empresa que atua em duas áreas de negócio principais: a eletricidade e o gás natural. Em Portugal, opera as principais infraestruturas de transporte de energia, efetuando (REN, 2017a):

- O transporte de eletricidade em muito alta tensão e a gestão técnica global do Sistema Elétrico Nacional;
- O transporte de gás natural em alta pressão e a gestão técnica global do Sistema Nacional de Gás Natural, garantindo a receção, armazenamento e regaseificação de GNL (Gás Natural Liquefeito), bem como o armazenamento subterrâneo de gás natural.

A proteção ambiental, a utilização racional dos recursos naturais e prevenção da poluição, têm sido áreas de desenvolvimento e compromisso da sua política ambiental, quer na concretização de novos projetos de investimento, quer nas suas atividades de operação e manutenção das diversas infraestruturas de transporte e armazenamento de eletricidade e de gás natural (REN, 2017b).

Através de uma abordagem sistematizada, a REN tem como o objetivo o aperfeiçoamento das suas práticas de gestão ambiental, da inovação, do ambiente, da segurança e da saúde no trabalho, comprometendo-se a (REN, 2009):

- Assegurar o cumprimento da legislação, regulamentação e requisitos em vigor aplicáveis às suas atividades;
- Avaliar ciclicamente os resultados obtidos tendo em vista a melhoria contínua e eficácia dos sistemas, introduzindo, sempre que considere oportuno, as ações corretivas necessárias;
- Minimizar os impactes ambientais decorrentes das suas atividades;
- Promover de medidas de prevenção ou mitigação de forma a impedir ocorrência de riscos na segurança e saúde ocupacional dos seus colaboradores, empreiteiros e prestadores de serviços.

O presente trabalho focou-se nas subestações que fazem parte da Rede Nacional de Transporte (RNT), das quais 21 subestações dependem de captações subterrâneas particulares para abastecimento e consumo de água.

A RNT garante o escoamento da energia elétrica desde os centros electroprodutores até às subestações transformadoras, nas quais é feita a ligação, quer diretamente a consumidores ligados em MAT, quer em AT entre a rede nacional de transporte e a rede nacional de distribuição (REN, 2015).

Uma subestação elétrica é uma instalação com um conjunto equipamentos elétricos destinados a elevar a tensão da eletricidade produzida nas centrais elétricas para ser transportada em AT ou MAT para zonas de consumo, ou, uma vez perto das zonas de consumo, baixar o nível de tensão para a energia elétrica poder ser distribuída em média tensão (EDP, 2009). A seguinte Figura 4.1 representa a estrutura comum de uma subestação, caracterizada pelos respetivos edifícios, fundamentais na coordenação do funcionamento global e equilíbrio do Sistema Elétrico Nacional e, na monitorização e operação dos equipamentos da RNT.

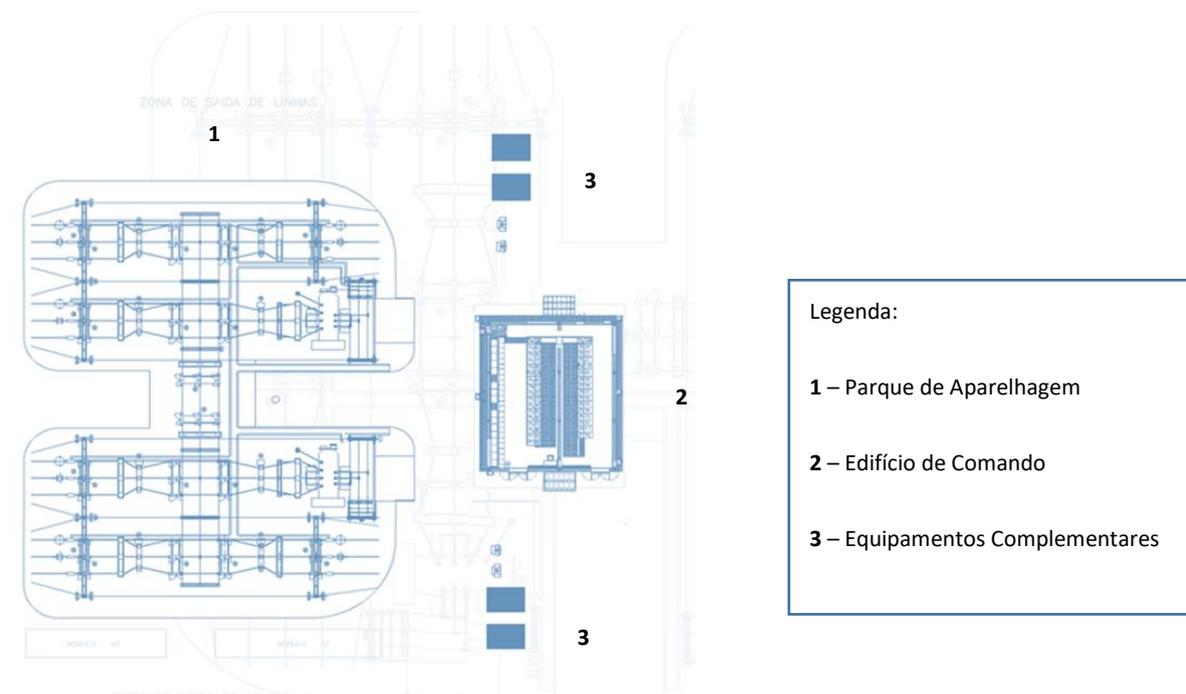


Fig.4.1 – Estrutura de uma subestação elétrica. (Fonte: EDP, 2009)

## 4.2. METODOLOGIA

De modo a se obter um conjunto de casos de estudo representativos e que servissem de referência para futuros estudos das restantes instalações, foram selecionadas cinco subestações de tipologias diferentes: Vila Pouca de Aguiar, Valdigem, Fanhões, Palmela e Pedralva.

Para cada uma das instalações em estudo aplicou-se uma metodologia multidisciplinar, apresentada no seguinte esquema, Figura 4.2:

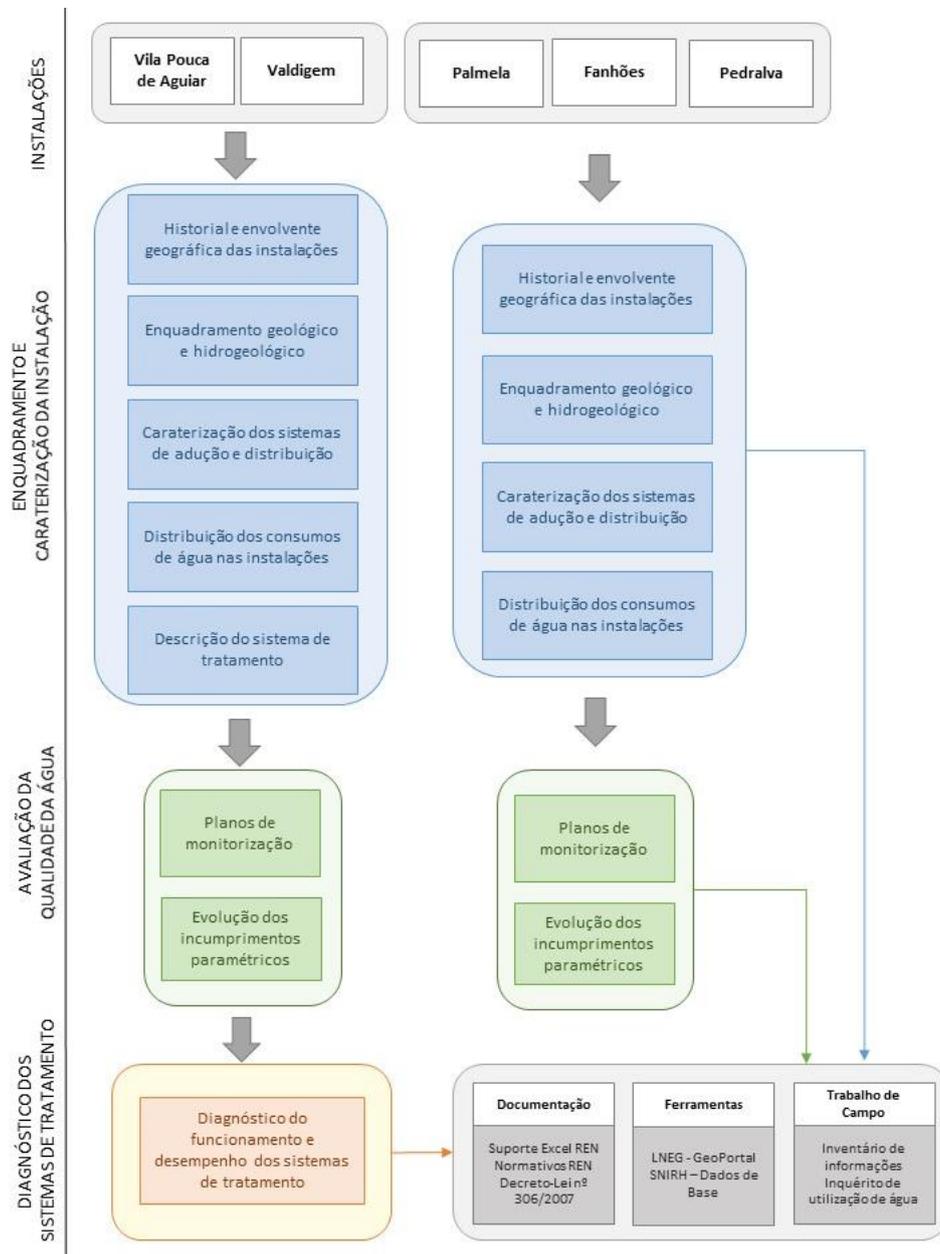


Fig.4.2 – Esquema metodologia.

A caraterização das diferentes tipologias baseou-se no tipo de permanência de colaboradores, no tipo de abastecimento e utilização da água e na existência de sistema de tratamento ou não. A seguinte Tabela 4.1 apresenta de forma esquematizada os parâmetros chave, que foram determinantes na seleção das instalações.

Tabela 4.1 – Parâmetros de seleção dos casos de estudo.

Instalações	Permanência	Utilização água	Tipo de abastecimento	Sistema de tratamento
Vila Pouca de Aguiar	Abandono	Consumo + Rega	Poço + Cisterna	Sim
Valdigem	Sede de núcleo	Rega + Limpeza	Furo + Cisterna	Sim
Fanhões	Abandono	Consumo + Rega	Furo + Cisterna	Não
Palmela	Sede de núcleo	Rega + Limpeza	Furo + Cisterna	Não
Pedralva	Abandono	-	Furo + Ligação Direta	Não

- *Permanência*

O setor elétrico é uma área de alta competitividade e complexidade a nível de equipamentos e operação, exigindo, portanto, permanentes atividades de manutenção corretiva e preventiva de equipamentos, de linhas, dos postes de corte e seccionamento. Parte destes trabalhos de manutenção requerem uma intervenção imediata para reparações de avarias ou recondicionamento operados a equipamentos (REN, 2012). No entanto, a maioria das subestações da REN são telecomandadas e sem pessoal em permanência, sendo caracterizadas por instalações em abandono. Em situações de emergência existem equipas disponíveis e dotadas de adequados meios de deslocação, localizadas estrategicamente no terreno, nas sedes de núcleos, onde se encontram diariamente em permanência cerca de 3 trabalhadores.

- *Tipo de utilização de água*

O consumo de água em edifícios está diretamente relacionado com as atividades produtivas, com as necessidades dos utilizadores (higiene e alimentação) ou com usos para efeitos de climatização, lavagens, estéticos ou associados aos processos desenvolvidos (Almeida *et al.*, 2006).

Nas instalações da REN a utilização mais comum de água é caracterizada pelo uso doméstico, efetuado no interior do edifício de comando, relacionado com atividades de higiene e limpezas. No exterior algumas destas subestações apresentam pequenas zonas de vegetação e jardins, associadas a sistemas de rega manuais.

- *Tipo de abastecimento*

O conhecimento de todo o sistema de abastecimento, desde a sua origem até à torneira do consumidor, deve ser uma prioridade de gestão, com base na identificação dos pontos de controlo críticos do sistema e caracterização de problemas relacionados com a qualidade da água bruta, tratada e distribuída (Casimiro *et al.*, 2007). Durante a avaliação do sistema de abastecimento foi possível verificar que a captação de água subterrânea era realizada com recurso a poços ou furos e a sua distribuição e/ou armazenamento era realizado por ligação direta ou com recurso a cisterna. Este parâmetro pode levar a uma deterioração da qualidade da água e, como iremos ver no próximo capítulo 5, irá condicionar a proposta de solução de tratamento de água.

- *Sistema de tratamento*

Dada a variabilidade da qualidade da água subterrânea de origem, com a consequente complexidade das opções de tratamento existentes, foram selecionadas instalações associadas a tratamentos específicos e outras que apenas necessitariam de sistemas de desinfeção.

Outro critério foi a escolha de instalações que já apresentavam sistema de tratamento, mas que por motivos desconhecidos não cumpriam os requisitos de qualidade estabelecidos para o

consumo humano. Assim, a existência de sistema de tratamento irá ditar o estudo e diagnóstico desses sistemas, que será exposta no ponto 4.3.

#### 4.2.1. ENQUADRAMENTO E CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

Como foi referido no capítulo 2, a degradação da qualidade das águas subterrâneas pode estar relacionada: com a poluição antrópica, pontual ou difusa, resultante da ação humana inerente a atividades diversas, nomeadamente agrícolas, urbanas e industriais; e/ou com a poluição de origem natural, provocada pela circulação de águas em meios geológicos naturais que alterem significativamente a sua composição, impondo restrições ao seu consumo (Lobo-Ferreira, 1995).

- Historial e envolvente geográfica das Instalações

O levantamento e caracterização da zona envolvente, é, portanto, de grande relevo no conhecimento de pressões ambientais e na identificação de possíveis fontes de contaminação que interfiram na qualidade natural das águas subterrâneas. A seguinte Tabela 4.2 apresenta o historial das instalações, alvos de estudos.

Tabela 4.2 – Historial e envolvente das instalações.

Instalações	Data de Entrada em Serviço	Zona Envolvente	Utilização Anterior do Terreno	Bacia Hidrográfica
Vila Pouca de Aguiar	2008	Rural	Florestal	Tua
Valdigem	1976	Rural	Agrícola/Florestal	Douro
Fanhões	1979	Rural	Agrícola/Florestal	Tejo
Palmela	1986	Rural/urbana	Agrícola/Florestal	Sado
Pedralva	2007	Rural/urbana	Agrícola/Florestal	Cávado

No sentido de se identificar possíveis pressões antropogénicas foram realizadas visitas às instalações e procedeu-se ao levantamento de possíveis condicionantes das captações.

- Enquadramento Geológico e Hidrogeológico

Numa segunda fase, foi necessário o estudo e enquadramento geológico e hidrogeológico de cada instalação, por forma a se identificar a natureza geológica dos locais.

Para tal, recorreu-se à ferramenta do geoPortal, do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), que disponibiliza um conjunto de conhecimento de base sobre a natureza e estrutura (composição mineralógica, química, litológica, estrutural, etc.) do subsolo de Portugal (LNEG, 2010a). A partir da cartografia foi possível aceder-se aos dados espaciais e obter informações georreferenciadas do enquadramento geológico da superfície e das unidades geológicas hospedeiras dos aquíferos. Os seguintes mapas representam a localização dos pontos das captações das instalações, com recurso ao Mapa de Recursos Hidrogeológico (Figura 4.3 a)) e à Carta Geológica de Portugal (Figura 4.3 b)), a uma escala de 1:1 000 000.

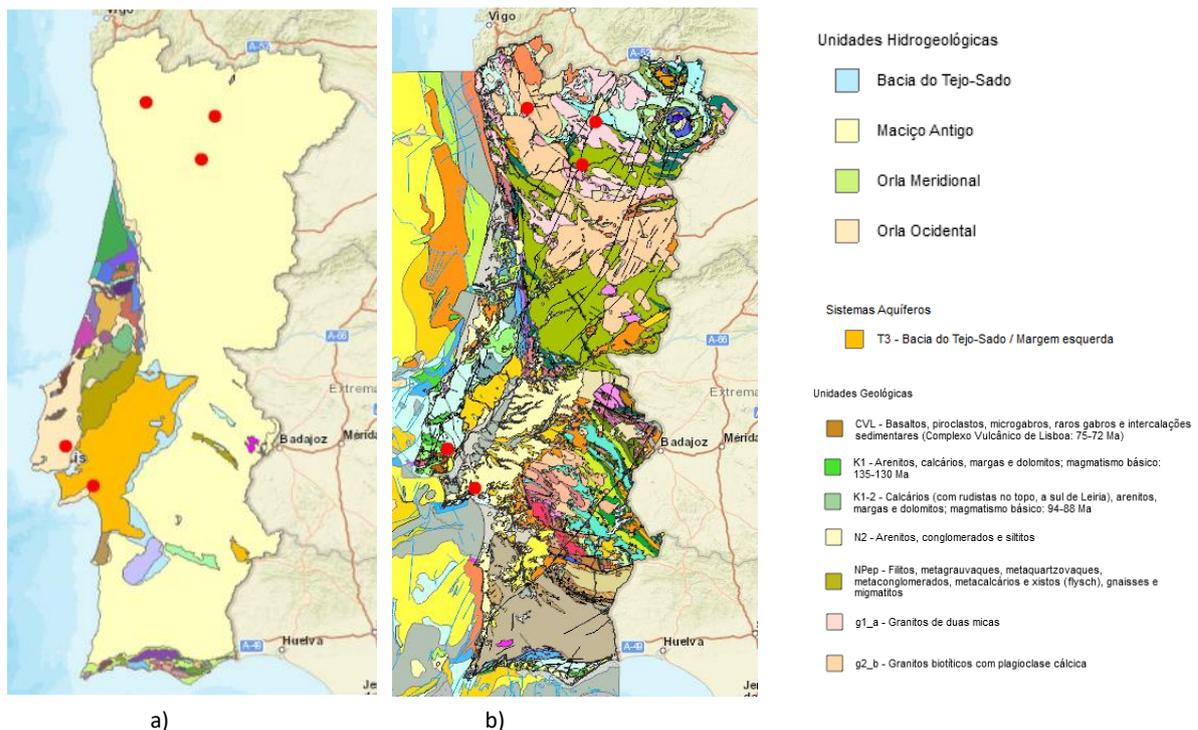


Fig.4.3 – a) Unidades Hidrogeológicas e Sistemas Aquíferos, b) Unidades Geológicas. (Fonte: LNEG, 2010b)

A Tabela 4.3 apresenta as características geológicas e hidrogeológicas características de cada instalação.

Tabela 4.3 – Enquadramento geológico e hidrológico das instalações.

Instalações	Unidade Hidrogeológica	Sistemas de Aquíferos	Tipo de Rocha	Fácies Químicas	Formação
Vila Pouca de Aguiar	Maciço Antigo	-	Rocha ígnea	Granito	<i>Granito da Gralheira (granito de grão médio a grosseiro)</i>
Valdigem	Maciço Antigo	-	Rocha metamórfica	Filito	<i>Complexo xisto-grauváquio</i>
Fanhões	Orla Mesocenozóica Ocidental	-	Rocha sedimentar	Calcário, arenito, rocha carbonatada impura, dolomito	<i>Formação de Bica</i>
Palmela	Bacia Terciária do Tejo-Sado	Bacia do Tejo-Sado / Margem esquerda	Rocha sedimentar	Arenito, conglomerados, silito	<i>Complexo Greso-argiloso do Algeruz e Monte do Pinheiro</i>
Pedralva	Maciço Antigo	-	Rocha ígnea	Granito	<i>Complexo Granítico de Braga</i>

De referir, que durante o levantamento hidrogeológico não se teve em consideração a profundidade das captações, devido à falta de dados nos licenciamentos, que pode influenciar a caracterização dos casos de estudo.

Outro fator que exerce influência sobre os recursos hídricos subterrâneos é a monitorização do nível piezométrico do aquífero e a simulação de diferentes cenários de precipitação, com o objetivo de se prever os efeitos nos fenómenos de recarga dos aquíferos. Visto que as captações subterrâneas são a única fonte para suprir as necessidades de água nas instalações, como trabalho futuro aconselha-se o acompanhamento da disponibilidade hídrica, atendendo às características climáticas e de pluviosidade das regiões, para o conhecimento das recargas e potenciais situações de seca ou cheias, que provocam alterações na qualidade da água.

- Características do sistema de adução e distribuição

A conceção de um bom sistema ativo de abastecimento requer o planeamento sustentável, que passa pela gestão de captação, desempenho do tratamento, operação de reservatórios e eficiência do sistema de distribuição de água (Morais *et al.*, 2005). Assim, torna-se igualmente importante o conhecimento do estado de conservação de todo o sistema de abastecimento, assim como, o levantamento de ações de manutenção e ocorrências, pois determina as condições necessárias à garantia de água segura nas suas características físicas, químicas e microbiológicas. Para tal, estudou-se a influência destes elementos na deterioração da qualidade da água, através do levantamento das características da captação, da rede de distribuição e rede de abastecimento e do reservatório de água, apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Características do sistema de adução e distribuição das instalações.

Instalações	Captação			Rede de Distribuição		Rede de Abastecimento		Cisterna	
	Profundidade (m)	Diâmetro (mm)	Caudal de exploração (L/s)	Material	Data	Material	Data	Capacidade (L)	Material
Vila Pouca de Aguiar	8	2500	-	PVC e Aço Inox	2008	PVC e Aço Inox	2008	3000	PEAD
Valdigem	90	160	0,83	PVC e Aço Inox	2015	PVC e Aço Inox	2015	6000	PVC
Fanhões	-	-	0,3	Ferro Galvanizado	1985	PEAD e PE	2017	5000	Betão
Palmela	-	-	1,3	PEAD e PE	2016	PEAD e PE	2016	1000	PVC
Pedralva	-	-	-	PEX	2007	PEX	2007	-	-

- Distribuição dos consumos de água nas instalações

Como foi referido anteriormente, as subestações exigem vários tipos de intervenções de manutenção. A maioria dos trabalhos de manutenção preventiva, que não exigem grande especialização, e os trabalhos de manutenção corretiva (reparações de pequenas avarias) são realizados por pessoal próprio da REN. Em certas situações a REN recorre à contratação de serviços externos em trabalhos que requerem meios humanos e meios auxiliares de diagnóstico de maior especialização (REN, 2012). Este cenário representa uma enorme variabilidade no consumo ao longo dos meses, como é possível verificar-se no Anexo A, provocado pelo aumento no número de utilizadores de água.

No sentido de se estimar a distribuição de consumos nas instalações, foi realizado no âmbito da presente dissertação um questionário dirigido aos colaboradores (responsáveis pela área de operação e manutenção da divisão de exploração das instalações em estudo) para caracterizar os procedimentos de utilização comum de água. Inicialmente realizou-se o levantamento do número convencional de ocupantes e da frequência de visitas às instalações, em função do tipo de permanência, apresentadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Distribuições dos consumos de água nas instalações.

Instalações	Permanência	Nº de ocupantes	Frequência de visitas às Instalações (visitas/mês)
Vila Pouca de Aguiar	Abandono	1	2
Valdigem	Sede de núcleo	3	-
Fanhões	Abandono	1	6
Palmela	Sede de núcleo	3	-
Pedralva	Abandono	2	1

O conhecimento da forma como a água é consumida representa uma mais-valia a diversos níveis, nomeadamente no que concerne ao planeamento e gestão das infraestruturas, ao estudo e projeto de instalações sistemas de tratamento de água e à aplicação e avaliação de medidas de otimização do uso da água (Santos, 2012).

Assim, considerou-se o pior cenário possível, que será referente ao máximo número de utilizadores que poderá ocorrer, traduzido num valor aproximado de 20 trabalhadores. A partir dos dados do *Portal de Sustentabilidade* da empresa (REN, 2013a), analisou-se os consumos globais anuais das instalações (Tabela 4.6). Estes consumos representam os volumes de água registados pelos contadores: à entrada dos edifícios de comando, para o caso de Fanhões e Pedralva; à entrada dos sistemas de tratamento para as subestações de Vila Pouca de Aguiar e de Valdigem; e logo após a captação de água do furo para Palmela.

Tabela 4.6 – Consumos globais anuais das instalações.

Instalações	Consumos anuais globais (m <sup>3</sup> /ano)		
	2014	2015	2016
Vila Pouca de Aguiar	11,00	46,00	6,00
Valdigem	57,83	18,69	63,95
Fanhões	176,00	112,00	7,00
Palmela	424,00	723,00	925,00
Pedralva	54,36	39,75	66,74

No entanto, não foi possível determinar-se o consumo de água nos diferentes tipos de usos e dispositivos, devido à ocorrência de intercalações variáveis e pouco permanentes da utilização da água. Para que tal fosse possível, seria necessário a compilação de mais informações relativas à descrição genérica das instalações (informações sobre os edifícios, como dimensões das instalações, entre outros), descrição das condições de funcionamento das instalações (horários de funcionamento, número total de funcionários, frequência de utilização de água por utilizador, rotinas de limpeza das instalações, entre outros) e características da rede de distribuição (plantas com implantação das tubagens, dimensões e materiais das tubagens, localização dos contadores, localização, número e tipo de dispositivos de uso da água e características dos equipamentos e dispositivos) (Almeida *et al.*, 2006).

- Descrição dos sistemas de tratamento

Para se assegurar que a qualidade da água seja própria para consumo humano é vital que os sistemas de tratamento satisfaçam os requisitos legais e apresentem níveis de desempenho adequados, tendo em conta a qualidade da água bruta e as condições de consumo. Através de visitas aos locais, procedeu-se à caracterização e verificação do funcionamento dos sistemas de tratamentos das subestações de Vila Pouca de Aguiar e Valdigem, através da compilação de informação existente sobre os sistemas, levantamento dos equipamentos e acessórios, das plantas e esquema do projeto e dos manuais de funcionamento. Reunida a informação dos sistemas, analisaram-se as várias etapas unitárias dos processos de tratamento, necessárias para o diagnóstico e análise de desempenho dos mesmos.

#### 4.2.2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

- Planos de monitorização da qualidade da água

O procedimento de amostragem é um dos elementos mais importantes no programa de controlo da qualidade da água para consumo humano, pois deverá refletir resultados representativos da água a controlar (ERSAR, 2010).

A REN recorre aos serviços de um laboratório externo acreditado, responsável pela realização dos procedimentos de amostragem, métodos analíticos rigorosos e emissão dos relatórios de análises, de acordo com a legislação e normas em vigor.

A partir do Documento Normativo N-0014, da REN, foi possível verificarem-se os critérios e regras de monitorização aplicados pela REN, relativos à definição dos parâmetros mais relevantes de controlo e respetivas periodicidade de amostragem, segundo a legislação em vigor (REN, 2013b). Estes planos de monitorização encontram-se no Anexo B e são definidos pelos respetivos parâmetros de controlo e frequência adotada a cada um dos diferentes tipos de controlo, determinados em função do tipo de utilização e das características da qualidade da água. No entanto, os planos de monitorização estabelecidos pela empresa, apenas abrangem o controlo analítico da água na torneira do consumidor.

Os tipos de controlos dos respetivos casos de estudo, apresentados na Tabela 4.7, são caracterizados pelo tipo de permanência de colaboradores e finalidade do uso da água:

- **Controlo Consumo Tipo 1:** engloba todas as instalações sem colaboradores em permanência, abastecidas por captações próprias licenciadas para consumo humano.
- **Controlo Consumo Tipo 2:** engloba todas as instalações com colaboradores em permanência, abastecidas por captações particulares com utilização de recursos hídricos para captação de água, cuja a finalidade anterior não era o consumo humano.
- **Controlo Consumo Tipo 4:** engloba instalações da REN, sem colaboradores em permanência, cujo abastecimento de água é assegurado por captações particulares com título de utilização de recursos hídricos para captação de água, que em anos anteriores apresentaram não conformidades em alguns parâmetros e que não se enquadram em nenhuma das hipóteses anteriores.
- **Controlo Despistagem:** engloba instalações sem colaboradores em permanência, ligadas à rede pública e/ou com abastecimento realizado por captações próprias. Encontram-se incluídas nesta categoria as instalações das quais nunca tenham sido realizadas campanhas anteriores de monitorização ou cujo abastecimento seja assegurado através de cisternas, abastecidas periodicamente por corporações de bombeiros.

Tabela 4.7 – Tipos de controlos de consumo das instalações.

Instalações	Tipo Controlo de Consumo
Vila Pouca de Aguiar	Controlo Consumo Tipo 1
Valdigem	Controlo Consumo Tipo 2
Fanhões	Controlo Consumo Tipo 1
Palmela	Controlo Consumo Tipo 2
Pedralva	Controlo Consumo Tipo 4

- Evolução dos incumprimentos paramétricos

Dada a importância do controlo da qualidade da água, a deteção das situações de incumprimentos e identificação das suas causas, são elementos essenciais na definição de medidas de correção das anomalias e na prevenção de situações futuras (Alexandre *et al.*, 2005).

Através dos relatórios de análises procedeu-se à avaliação da qualidade da água nas respetivas instalações e à identificação dos incumprimentos paramétricos. Para tal, teve-se como referência os requisitos estabelecidos no anexo I do Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de agosto, que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano e os parâmetros e valores limites paramétricos.

Para além dos resultados das amostragens, teve-se em consideração os dados das monitorizações anteriores, entre 2013 a 2015, de forma a se assegurar a conformidade das análises do laboratório e se criar um perfil qualidade da água para cada uma das instalações.

Verificadas as situações dos incumprimentos paramétricos, apresentados na Tabela 4.8, procedeu-se à investigação da respetiva causa associada, tendo por base o desvio em relação ao valor paramétrico fixado e à sua evolução ao longo dos anos.

Tabela 4.8 – Identificação dos incumprimentos paramétricos dos casos de estudo.

Incumprimentos Paramétricos				
Organoléuticos	Físico-químicos	Substâncias indesejáveis	Substâncias tóxicas	Microbiológicos
Turvação	Desinfetante residual	Ferro	Níquel	Coliformes totais
	pH	Manganês	Terbutilazina	<i>Clostridium perfringens</i>
	Cálcio	Nitratos	Desetiliterbutilazina	Número de colónias 22°C
	Dureza Total		Pesticidas (total)	Número de colónias 37°C

#### 4.2.3. DIAGNÓSTICO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

Por fim, e reunidas as condições necessárias características das instalações com sistemas de tratamento, apresentadas na Figura 4.2, e com base nos resultados dos relatórios de controlo da qualidade da água, procedeu-se ao diagnóstico do desempenho e funcionamento destes sistemas. Para tal, verificou-se se estes se encontram adequadamente dimensionados, a serem operados e geridos. De referir, que em ambos os sistemas parte dos incumprimentos verificados são consequência da falta de adequados planos de controlo de operação e/ou manutenção dos órgãos de tratamento.

Com vista a restabelecer a qualidade da água, corrigir os valores paramétricos microbiológicos e substâncias físico-químicas e, assegurar uma adequada concentração de desinfetante residual na água, são expostas medidas de controlo e manutenção, propostas de adaptações e alterações dos sistemas de tratamento.

### 4.3. INSTALAÇÕES COM SISTEMA DE TRATAMENTO

#### 4.3.1. VILA POUCA DE AGUIAR

- **Enquadramento e caracterização das instalações**

A subestação de Vila Pouca de Aguiar situada em Trás-os-Montes, entrou em serviço em 2008 e é caracterizada por uma envolvente rural (Figura 4.4). Esta subestação constitui uma importante ligação da RNT, que se destina a realizar o transporte proveniente da produção de energia eólica da região.



Fig.4.4 – Historial e caracterização da instalação de Vila Pouca de Aguiar.

A captação de água subterrânea da subestação insere-se na Bacia Hidrográfica do Douro e a nível hidrogeológico localiza-se no Maciço Antigo, onde não existe sistemas aquíferos diferenciados. A natureza geológica do sistema hídrico subterrâneo é caracterizado pelo *Granito da Gralheira*, composta por rocha ígnea, rica em granito de duas micas de grão médio a grosseiro (Folha 6-D – Vila Pouca de Aguiar, 1992) (Figura 4.5).

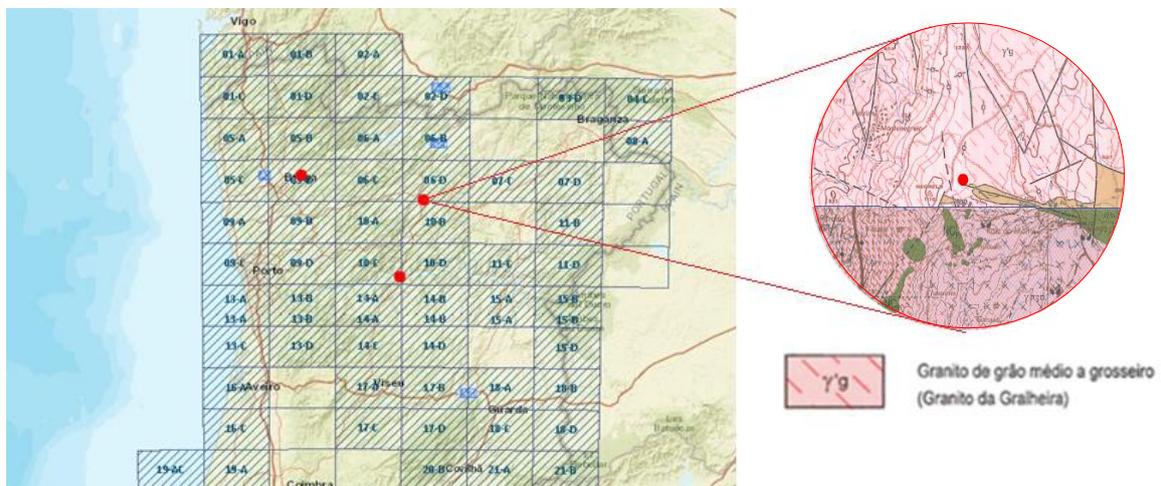


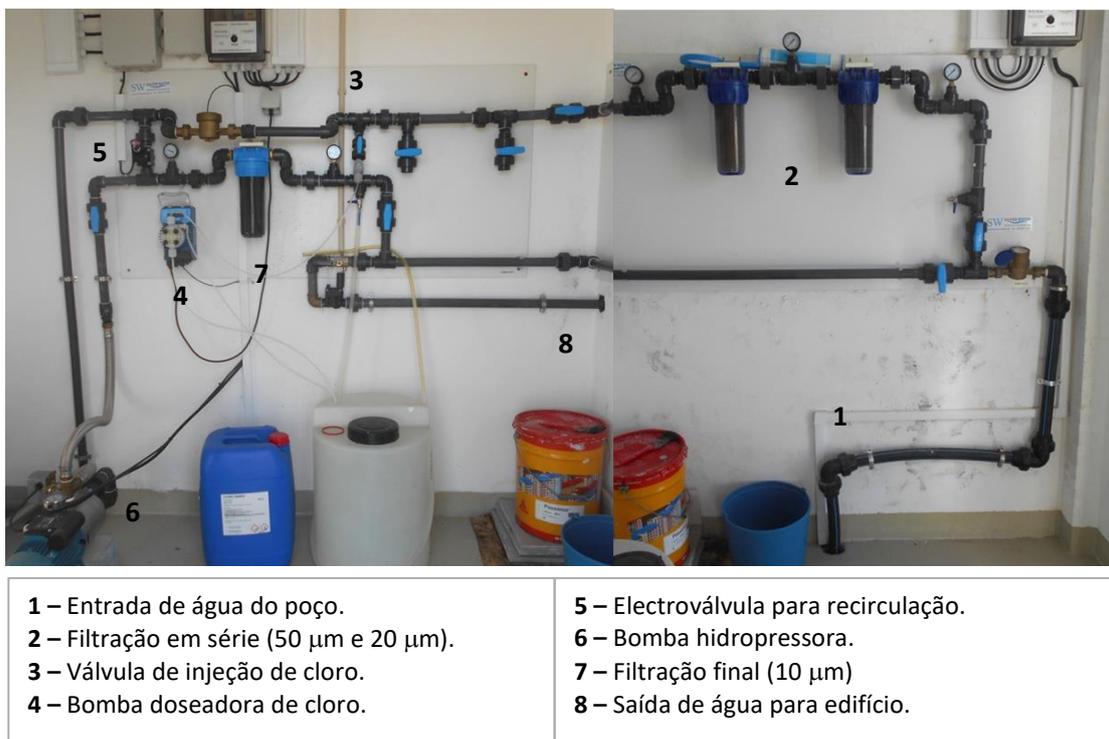
Fig.4.5 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Vila Pouca de Aguiar. (Fonte: LNEG, 2010b)

Com a construção da instalação, em 2008, foi incorporada uma sala com um sistema de tratamento de água (Figura 4.6a) e uma cisterna de armazenamento de água tratada (Figura 4.6b).

De acordo com o levantamento efetuado durante a visita à subestação, foi possível apurar que devido às condições climáticas extremas, durante o inverno, ocorreram vários episódios de formação de gelo nas tubagens e avarias nos equipamentos do sistema de tratamento. Como forma de prevenção a situações idênticas no futuro, a sala do sistema de tratamento foi equipada com portas impermeáveis, sistema de aquecimento e realizou-se a substituição do pressostato da bomba hidropressora.



O sistema de tratamento é constituído por processos de filtração, desinfecção por injeção de cloro e sistema de recirculação (Figura 4.7). O sistema de bombagem de água do poço é acionado pelo sensor de nível presente no depósito de armazenagem de água tratada. Inicialmente o circuito de água passa por dois filtros de cartucho, em série e, em seguida, pela desinfecção através da bomba doseadora, que mediante a programação injeta 1 mg de  $\text{Cl}_2$  por cada litro de água que passa no sistema.



Realizada a desinfecção, a água é transportada para o depósito de água tratada, que se encontra enterrado, onde fica armazenada. Dado que o consumo de água na subestação não é regular, nem diário, foi instalado um sistema de recirculação que efetua em 2 períodos do dia, a recirculação em circuito fechado da água armazenada no reservatório. Este sistema conta com um quadro elétrico de comando, um relógio programável analógico, uma electroválvula e uma bomba hidropressora que realiza a recirculação da água ou pressuriza a água na rede de abastecimento.

Por fim, a água é submetida a uma filtração final e é encaminhada para a rede de distribuição.

Todo este sistema é equipado com painel luminoso de sinalização que indica anomalias de falta de água no poço e de mau funcionamento e/ou avaria da bomba de captação e da bomba hidropressora.

- **Avaliação da qualidade da água**

Como foi referido anteriormente, a instalação de Vila Pouca de Aguiar apresenta um sistema de tratamento e desinfecção de água, que funciona com uma bomba doseadora que efetua a injeção de hipoclorito na água. No entanto, e partir da Tabela 4.9, é possível verificar-se que o sistema de desinfecção não é viável devido aos resultados oscilatórios das amostragens de desinfetante residual ao longo dos anos e à presença dos parâmetros microbiológicos.

A subestação de Vila Pouca de Aguiar é caracterizada por uma água macia devido à natureza geológica granítica, refletindo-se num valor baixo da dureza total.

Tabela 4.9 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Vila Pouca de Aguiar.

Incumprimentos	2013	2014	2015	2016	Valor Paramétrico Legislado	Unidades
Desinfetante residual	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
pH	(2)	<b>6,4</b>	7	7,3	≥ 6,5 e ≤ 9	unidade de pH
Número de colónias 22°C	(2)	0	<b>300</b>	0	<100	N.º/100 ml
Número de colónias 37°C	(2)	0	<b>113</b>	0	<20	N.º/100 ml
Dureza Total	(2)	<b>35</b>	<b>45</b>	<b>55</b>	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>

(2) - Parâmetro não analisado

- **Diagnóstico do funcionamento e desempenho das instalações com sistema de tratamento**

O presente sistema de tratamento não cumpre os objetivos de qualidade estabelecidos pelas normas em vigor. Acrescenta-se ainda que, através da análise da qualidade da água constatou-se que a injeção de cloro controlada pelo contador de impulso não é eficaz para a desinfecção adequada da água. Relativamente ao sistema de recirculação, e como é possível visualizar-se na Figura 4.7, este não é abrangido pelo ponto de injeção de cloro, dificultando assim, a presença de desinfetante residual na água de consumo, podendo levar ao desenvolvimento de microrganismos.

Do ponto de vista técnico, seria então necessário proceder-se a um ajuste do ponto de injeção de cloro para o circuito de recirculação e ser instalado um controlador químico automático, que permitiria a monitorização e controlo de modo contínuo de cloro residual na água. Por outro lado, dever-se-á ter em consideração a realização de ajustes das dosagens de hipoclorito de sódio, através da obtenção consistente do caudal e volume de água a tratar, promover um tempo de contacto adequado entre o desinfetante e a água a tratar, garantir a existência de desinfetante no depósito e uma gestão eficiente do stock.

Outra anomalia verificada foi o aspeto saturado do conjunto de filtros, ilustrado na Figura 4.8a, caracterizados por uma cor negra, que poderia ser justificado pela presença de manganês nas águas. No entanto, e a partir do perfil de qualidade da água ao longo dos anos, verificou-se que a água não apresentava manganês, concluindo-se então, que a coloração era provocada por falta de manutenção na substituição dos filtros.

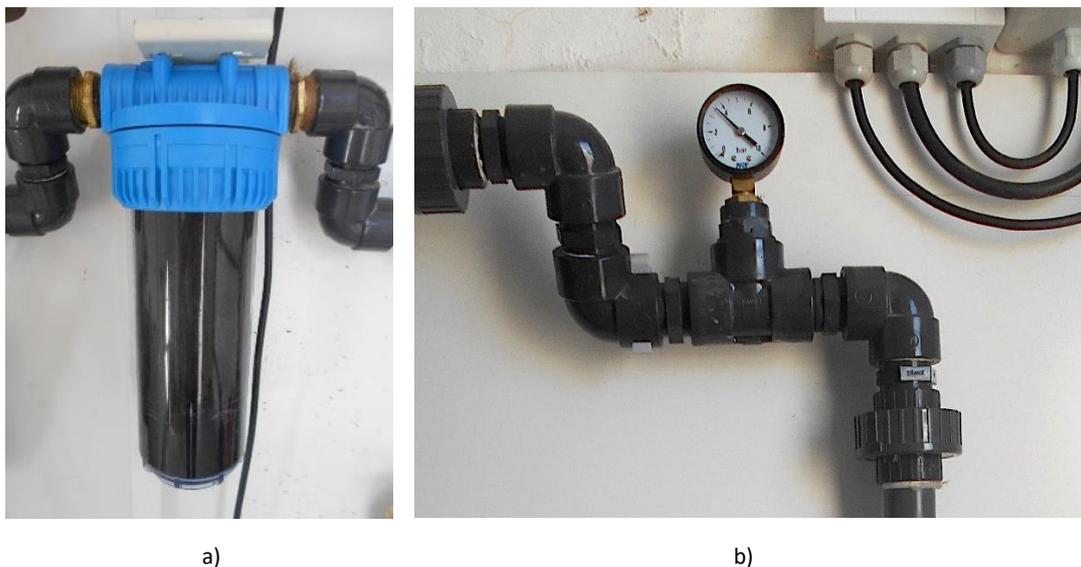


Fig.4.8 – Sistema de filtração: a) Filtros de cartucho, b) Manómetros de pressão.

Assim sendo, a consideração do tempo de vida útil dos filtros, a verificação da perda de carga do meio filtrante através de inspeções visuais e a garantia da existência de filtros de reserva, são requisitos essenciais. Uma maneira de se prever a ocorrência de colmatção do meio filtrante é acompanhar e assegurar a pressão adequada nos manómetros a montante e jusantes dos filtros (Figura 4.8b).

A realização de controlo adequado das pressões na rede de distribuição de água deve ser igualmente acompanhada, de modo a garantir um caudal de água regular, evitando oscilações das pressões.

O tempo de residência da água no sistema de distribuição deve também ser minimizado, sem esquecer a necessidade de haver uma reserva de água para responder aos picos de consumo ou a uma falha da água na captação.

A água proveniente do sistema de tratamento pode ainda sofrer deterioração da sua qualidade na rede de distribuição, tornando o conhecimento do estado de conservação das condutas e a utilização de materiais adequados para estarem em contacto com a água uma prioridade, assim como, o conhecimento de ocorrência de quebras de pressão ou roturas nas condutas.

Como os sistemas de armazenamento de água desempenham uma função vital no abastecimento de água de consumo humano, deverão ser estabelecidos planos de limpeza e higienização da cisterna, de forma a se remover biofilmes e depósitos formados. Como foi referido a água tratada é armazenada num reservatório com uma capacidade de 5000 L, que poderá estar desajustada ao tipo de utilização de água que ocorre na subestação de Vila Pouca de Aguiar, podendo levar a fenómenos de estagnação e desenvolvimento de microrganismos.

Para além da gestão do sistema de armazenamento, a captação de água também deverá ser alvo de inspeção, no sentido de se verificar o estado de conservação da estrutura interna e a proteção do perímetro para evitar a existência de fatores externos de contaminação.

Relativamente à monitorização da qualidade da água deverá ser estabelecido o controlo operacional com adequação e definição dos parâmetros de controlo em cada fase do sistema, bem como estabelecer a periodicidade dos mesmos. O acompanhamento da qualidade da água bruta também deverá ser avaliado, de modo a se identificar a natureza de possíveis incumprimentos paramétricos e estimar se estas anomalias são pontuais, sazonais ou persistentes.

Visto que a instalação não apresenta colaboradores em permanência, deverão ser estabelecidas visitas ao local para se proceder a ações de inspeção e de manutenção. O mesmo pode ser garantido com o apoio e formação dos operadores e através da implementação de um plano de monitorização e manutenção, com recurso a guia de rotina, que contenham listas de medidas de controlo e medidas corretivas.

4.2.2. VALDIGEM

• **Enquadramento e caracterização das instalações**

A subestação de Valdigem entrou em exploração em 1976, e destina-se a interligar as redes de 220 kV da RNT, a alimentar a Rede de Distribuição de 60 kV na zona de Portela. A área envolvente da instalação é dominada por ocupação agrícola, nomeadamente por uma zona vinícola, onde se encontra a Quinta Branca (Figura 4.9).

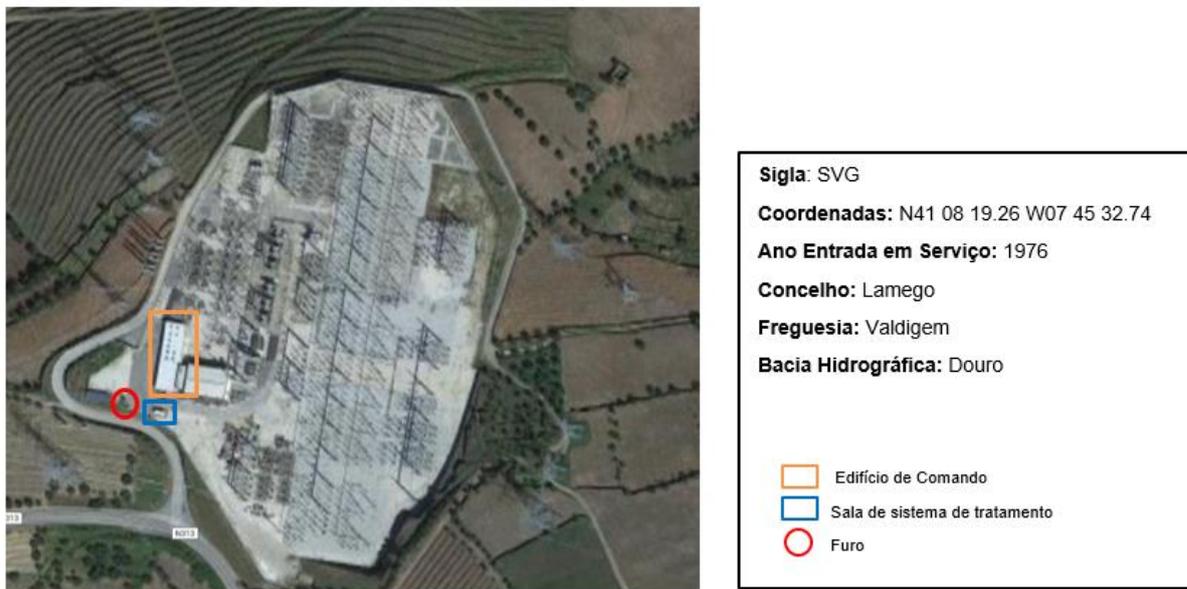


Fig.4.9 – Historial e caracterização da instalação de Valdigem.

Em termos hidrogeológicos, o local enquadra-se na grande unidade geológica designada por Maciço Antigo. Do ponto de vista geológico, a rocha predominante no local é do tipo metamórfica, caracterizada por filito, composta por corneanas, xistos, luzentes, estaurolíticos, granatíferos e minerais de metamorfismo, designado por *Complexo xisto-grauváquico* (Folha 10-C – Peso da Régua, 1967) (Figura 4.10).

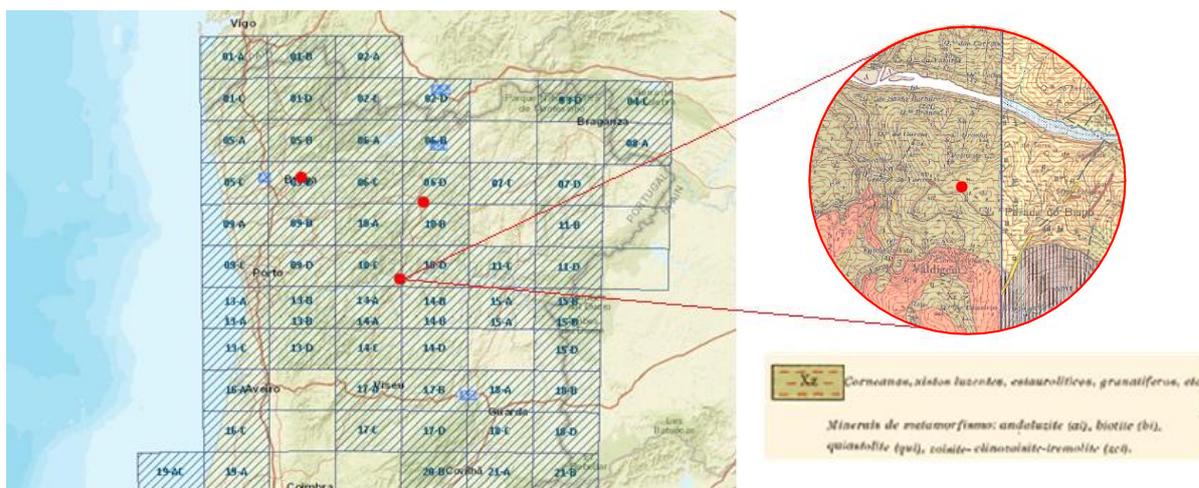


Fig.4.10 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Valdigem. (Fonte: LNEG, 2010b)

Em 2015 a rede de distribuição de água foi atualizada, para materiais de PVC e aço inoxidável, e foi instalado um sistema de tratamento na subestação (Figura 4.11a), muito semelhante ao da subestação de Vila Pouca de Aguiar. O processo de tratamento inicia-se através da captação de água bruta do furo pelo sistema de bombagem (Figura 4.11b), que é acionado pelo sensor de nível presente no depósito de armazenagem de água tratada.



Fig.4.11 – a) Sala do sistema de tratamento de Valdigem, b) Captação subterrânea - furo.

À entrada da sala do sistema de tratamento, a água pode tomar duas vias, para rega ou seguir pelo circuito do sistema de tratamento. No circuito de tratamento, a água passa por dois filtros de cartucho em série e, em seguida, pela desinfecção através da bomba doseadora, que mediante a programação injeta 1 mg de  $\text{Cl}_2$  por cada litro de água que passa no sistema (Figura 4.12).



- 1 – Entrada de água do furo.
- 2 – Filtração em série (50  $\mu\text{m}$  e 20  $\mu\text{m}$ ).
- 3 – Válvula de injeção de cloro.
- 4 – Bomba doseadora de cloro.

- 5 – Electroválvula para recirculação.
- 6 – Bomba hidropressora.
- 7 – Filtração final (20  $\mu\text{m}$ )
- 8 – Saída de água para edifício.

Fig.4.12 – Caraterização do sistema de tratamento da instalação de Valdigem.

Realizada a desinfecção, a água é transportada para o depósito de água tratada, enterrado, onde esta fica armazenada. Para evitar a estagnação da água, o sistema apresenta uma bomba hidropressora que permite a recirculação da água em circuito, ou pressuriza a água para a rede de abastecimento, mediante o circuito estabelecido pela electroválvula.

Por fim, e antes da água ser encaminhada para a rede de distribuição, é submetida a uma filtragem final.

Tal como em Vila Pouca de Aguiar, este processo é equipado com um sistema de controlo de alerta a ocorrências de falta de água no furo e de mau funcionamento e/ou avaria da bomba de captação e da bomba hidropressora.

- **Avaliação da qualidade da água**

Visto que em 2013, não foram realizadas amostragens, durante a análise teve-se em consideração os resultados de monitorização do ano anterior, e foram identificados os incumprimentos paramétricos expostos na Tabela 4.10.

A falta de desinfetante e o elevado tempo de permanência da água na cisterna podem refletir o incumprimento dos parâmetros microbiológicos.

Como a instalação de Valdigem se insere num meio rural, e a sua envolvente é caracterizada por um meio vinícola, a presença de nitratos em 2012 tem origem antropogénica e pode resultar do uso de fertilizantes azotados aplicados ao solo ou de efluentes e resíduos agrícolas.

A subestação de Valdigem é caracterizada por uma água moderadamente dura, com poucos minerais.

Tabela 4.10 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Valdigem.

Incumprimentos	2012	2014	2015	2016	Valor Paramétrico Legislado	Unidades
Coliformes totais	6	0	0	0	0	N.º/100 ml
Desinfetante residual	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
Número de colónias 22°C	200	125	300	239	<100	N.º/100 ml
Número de colónias 37°C	200	33	113	224	<20	N.º/100 ml
<i>Clostridium perfringens</i>	1	0	0	0	0	N.º/100 ml
Nitratos	52	18	10	17	50	mg/l NO <sub>3</sub>
Dureza Total	152	80	57	175	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>

(2) - Parâmetro não analisado

- **Diagnóstico do funcionamento e desempenho das instalações com sistema de tratamento**

O presente sistema de tratamento encontra-se na sua generalidade bem dimensionado. No entanto, a eficiência dos processos de tratamento é determinada pela qualidade da água. Segundo os relatórios das análises de qualidade da água da instalação de Valdigem, pode-se concluir que a injeção realizada pelo contador de impulso de cloro, e aliado ao elevado tempo de permanência da água no reservatório, não é eficaz para a desinfeção da água. Como se pode verificar na Figura 4.13, o sistema de recirculação não é abrangido pelo ponto de injeção, dificultando assim, a presença de cloro residual na água de consumo.



Fig.4.13 – Diagnóstico do sistema de tratamento da instalação de Valdigem.

Por conseguinte, aconselha-se a mudança do ponto de injeção de cloro para o sistema de recirculação. De forma a se garantir a incorporação de um processo flexível no sistema de tratamento de água, sugere-se o deslocamento da tubagem do sistema de recirculação e a aquisição de um controlador químico automático.

Tal como no caso de estudo anterior, a comparação entre a qualidade da água de origem e da qualidade da água tratada é essencial durante o diagnóstico do processo de tratamento. Sugere-se, portanto, que em análises futuras, haja o acompanhamento da qualidade da água bruta, antes do processo de tratamento, de forma a se verificar se a presença dos nitratos é uma situação pontual ou persistente, tomando-se as devidas medidas de prevenção ou a incorporação de outros processos de tratamento.

As sugestões e medidas de controlo expostas no ponto anterior, aplicam-se igualmente ao sistema de tratamento da subestação de Valdigem.

#### 4.4. INSTALAÇÕES SEM SISTEMA DE TRATAMENTO

##### 4.4.1. FANHÕES

- **Enquadramento e caracterização das instalações**

A subestação de Fanhões entrou em exploração em 1986, e destina-se a interligar as redes de 400 e 220 kV da RNT, a alimentar a Rede de Distribuição de 150 e 60 kV na zona de Fanhões (Figura 4.14).

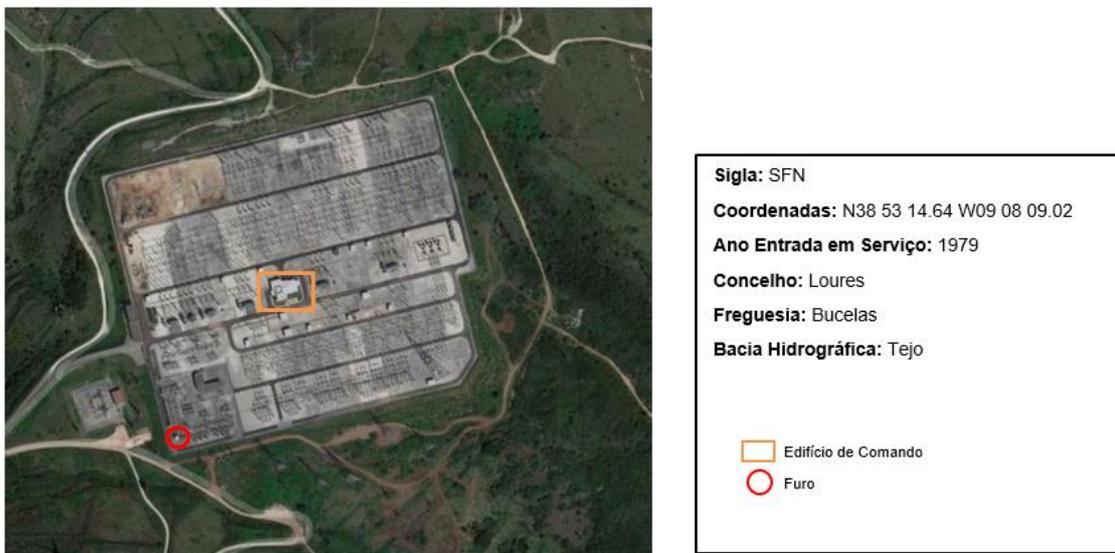


Fig.4.14 – Historial e caracterização da instalação de Fanhões.

Na sequência da análise do historial da subestação de Fanhões, verificou-se que a captação de água subterrânea se encontra fora do perímetro da instalação, nomeadamente no terreno ao lado, representado por uma subestação da EDP. Assim, a mesma encontra-se particularmente sensível ao tipo de utilização que ocorre nas instalações da EDP.

O sistema hídrico subterrâneo da instalação de Fanhões é caracterizado pela *Formação de Bica*, composta por rocha sedimentar rica em calcários com rudistas, arenitos e margas (Folha 34-B – Loures, 2008) (Figura 4.15).

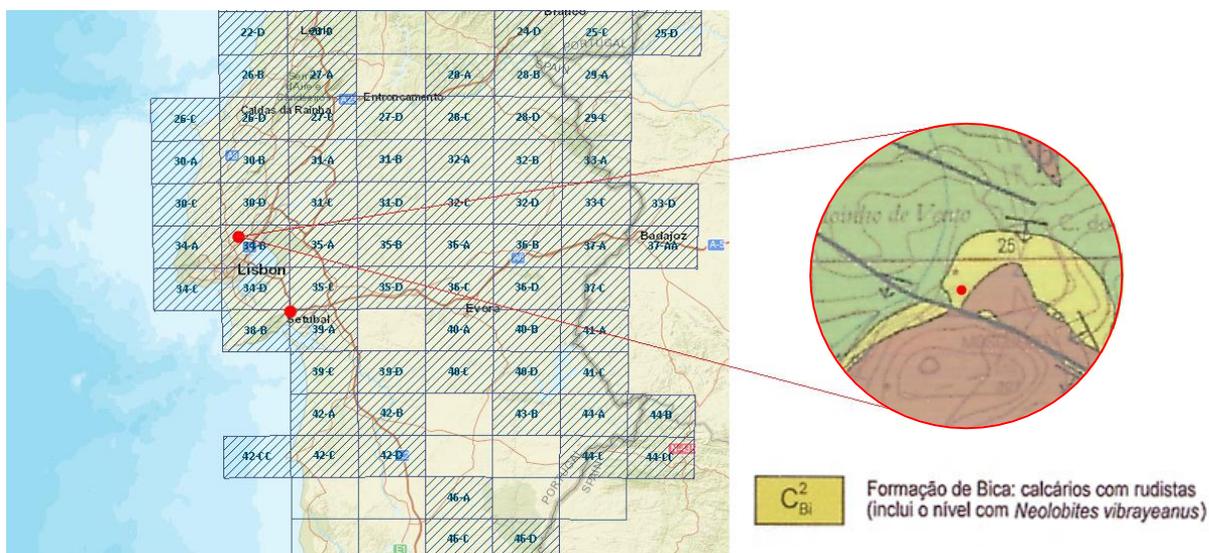


Fig.4.15 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Fanhões. (Fonte: LNEG, 2010b)

A rede de abastecimento de água na instalação sofreu uma remodelação em 2017, com a substituição da tubagem para PEAD. No entanto, a rede de distribuição mantém-se a mesma de origem (1985), em Ferro Galvanizado. Em 2015 foram realizadas outras intervenções, nomeadamente a instalação de transformadores e painéis, que podem estar associados a movimentação de terras. Através da visita à instalação constatou-se que em 2017 ocorreram vários episódios de falhas de água, provocados pela sobre-exploração nas instalações da EDP, sendo necessária a contratação de camiões-cisterna dos bombeiros, para suprir as necessidades de consumo de água.

- **Avaliação da qualidade da água**

Com base nos resultados das análises (Tabela 4.11) a presença de coliformes totais, verificada em 2014 na água de captação desta instalação, representa uma possível contaminação fecal na rede. A mesma pode estar associada à falta de desinfetante residual e ao elevado tempo de permanência da água na cisterna, que irá igualmente ser refletida no número de colónias a 22°C e no número de colónias a 37°C.

Em relação ao ferro, manganês e ao níquel, estes metais encontram-se associados entre si. Ambos são comuns nas águas subterrâneas e resultam da natureza geológica constituída por margas. Pode resultar ainda, de fenómenos de corrosão da rede de distribuição (origem de 1985), constituída por Ferro Galvanizado, podendo o seu revestimento ser caracterizado por elementos niquelados. O manganês existe normalmente em conjunto com o ferro, mas em concentrações substancialmente menores nas águas subterrâneas e pode ter origem natural, como, pode estar relacionada com a corrosão da tubagem.

Contudo, em 2015 verifica-se uma concentração excessiva destes metais. O mesmo pode ter origem antropogénica causada pelas intervenções e obras ocorridas nesse mesmo ano, com possível deslocamento de terras (visto que em 2016 os valores voltaram ao normal), da descarga acidental de contaminantes ou ainda da deposição de entulhos (dependendo do tipo de intervenção).

Uma das causas possíveis para a turvação é a presença de ferro e manganês na água, pois esta ocorrência é provocada nas redes devido à libertação de depósitos existentes nas canalizações, na sequência de processos de corrosão.

A presença de cálcio em solução nas águas está ligada à dureza dessa água, e pode resultar da composição das rochas e terrenos atravessados e/ou do desprendimento de incrustações das tubagens.

A dureza é equivalente à concentração total de todos os cations multivalentes presentes na água, como os iões de cálcio comuns em águas naturais. A presente subestação é caracterizada por uma natureza geológica de rocha sedimentar constituída por calcários, arenitos, margas e dolomitos, que irá tornar a água dura. No entanto, verifica-se um aumento da concentração de cálcio e da dureza total ao longo dos anos, com o respetivo incumprimento apenas em 2015. O mesmo pode ser justificado pela intervenção no terreno e/ou por fenómeno de corrosão que leva ao possível desprendimento dos depósitos de carbonato de cálcio das paredes da tubagem e provoca a sua dissolução na água.

Tabela 4.11 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de FANHÕES.

Incumprimentos	2013	2014	2015	2016	Valor Paramétrico Legislado	Unidades
Coliformes totais	0	6	0	0	0	N.º/100 ml
Desinfetante residual	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
Número de colónias 22°C	300	0	300	184	<100	N.º/100 ml
Número de colónias 37°C	300	18	300	300	<20	N.º/100 ml
Ferro	220	84	2400	710	200	µg/l Fe
Manganês	15	18	300	15	50	µg/l Mn
Turvação	7,8	0,5	1,2	5,6	4	UNT
Cálcio	54	69	210	31	100	mg/l Ca
Níquel	5	5	21	5	20	µg/l Ni
Dureza Total	150	320	690	210	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>

(2) - Parâmetro não analisado

#### 4.4.2. PALMELA

- **Enquadramento e caracterização das instalações**

A subestação de Palmela constitui uma importante ligação na RNT que entrou em serviço em 1979, e destina-se a interligar as redes de 400 kV da RNT, a alimentar a Rede de Distribuição de 150 kV na zona de Palmela (Figura 4.16). A zona em estudo está englobada na Massa de Água Subterrânea (MAS) Tejo e o abastecimento é realizado com recurso à disponibilidade do sistema aquífero da Bacia do Tejo-Sado / Margem esquerda. O recurso hídrico subterrâneo característico da subestação é abrangido pela Zona Vulnerável do Tejo, existe uma forte pressão agropecuária exercida no solo e no recurso.



Fig.4.16 – Historial e caracterização da instalação de Palmela.

Tal como na subestação de Fanhões, a captação de água subterrânea encontrava-se fora das instalações da REN, situada no bairro ao lado. Constatou-se desde logo, que a captação em estudo irá ser fortemente influenciada pelas pressões impostas pelos habitantes do bairro.

No que concerne ao enquadramento hidrogeológico, a subestação insere-se no *Complexo gresoso-argiloso do Algeuz e do Monte do Pinheiro*, essencialmente constituída por rocha sedimentar rica em arenito, conglomerados e siltitos (Folha 39-A – Águas de Moura, 1972) (Figura 4.17).

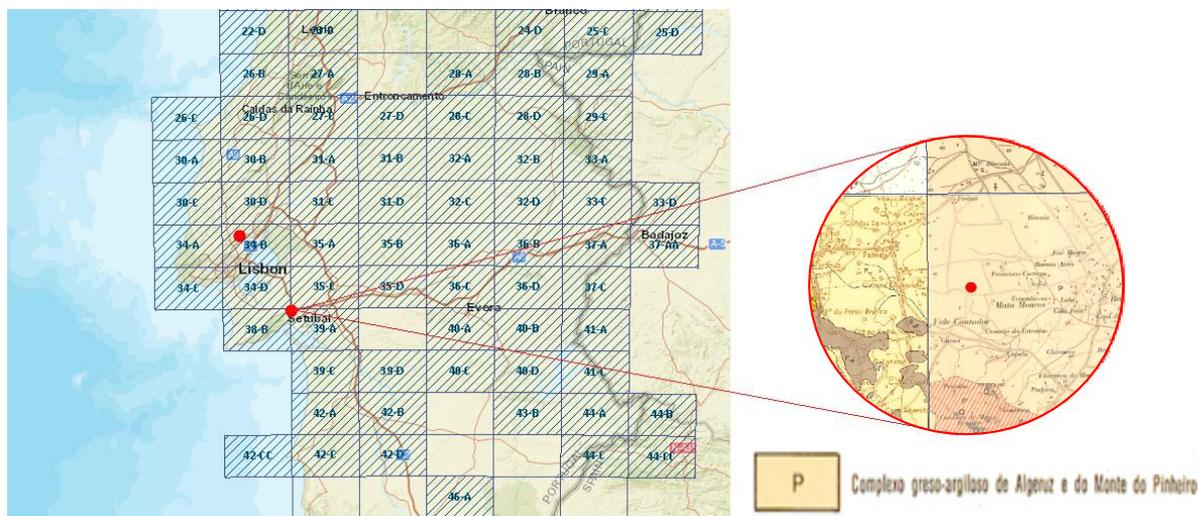


Fig.4.17 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Palmela. (Fonte: LNEG, 2010b)

A rede de abastecimento e distribuição de água na instalação sofreu uma remodelação em 2016, com a substituição da tubagem de aço galvanizado para PEAD. Outra alteração no sistema de abastecimento de água foi a aquisição de uma nova cisterna de PVC, com uma capacidade de 1000 L, mais adequada ao tipo de utilização e situação de consumo.

- **Avaliação da qualidade da água**

Ao longo dos anos de monitorização, apresentadas na Tabela 4.12, verifica-se incumprimentos microbiológicos, provocados pela falta de desinfetante residual ou por uma contaminação fecal.

Em relação ao pH, o seu valor é ligeiramente baixo, e pode resultar da natureza do terreno e/ou das reações dos microrganismos que consomem O<sub>2</sub> e libertam CO<sub>2</sub> e metabolitos de origem ácida.

A presença de ferro em 2013 é pontual e pode resultar de um erro de apresentação dos resultados, visto que, ao longo dos anos o seu valor apresenta sempre a mesma ordem de grandeza, e os restantes valores padrão encontram-se estáveis e sem aparente anomalia. De referir que a concentração de ferro tem origem natural proveniente do *Complexo Gresoso-argiloso do Algeuz*.

A presença da terbutilazina, e do metabolito proveniente da sua degradação, a deseterbutilazina, podem resultar do uso de pesticidas no terreno, visto que a captação se insere no bairro ao lado da subestação. De referir a ocorrência de cheias pode intensificar o arrastamento e a presença destes pesticidas.

A subestação de Palmela é caracterizada por uma água macia, com poucos minerais.

Tabela 4.12 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Palmela.

Incumprimentos	2013	2014	2015	2016	Valor Paramétrico Legislado	Unidades
Desinfetante residual	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
Número de colónias 22°C	63	78	36	<b>134</b>	<100	N.º/100 ml
Número de colónias 37°C	<b>67</b>	<b>197</b>	<b>50</b>	<b>300</b>	<20	N.º/100 ml
pH	<b>6,7</b>	<b>6,2</b>	<b>6,2</b>	<b>5,7</b>	≥ 6,5 e ≤ 9	unidade de pH
Ferro	<b>830</b>	69	80	50	200	µg/l Fe
Terbutilazina	0,025	0,025	<b>0,28</b>	<b>0,283</b>	0,10	µg/l
Deseterbutilazina	0,025	0,025	0,025	<b>0,322</b>	0,10	µg/l
Pesticidas (total)	0,025	0,025	0,366	<b>0,605</b>	0,50	µg/l
Dureza Total	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>

(2) - Parâmetro não analisado

#### 4.4.3. PEDRALVA

- **Enquadramento e caracterização das instalações**

A subestação de Pedralva entrou em serviço em 2007 e constitui um nó fundamental da RNT, ao ser dotada de dois desfasadores 400/150 kV e 450 MVA, permitindo o escoamento da grande concentração de produção de energia hídrica e eólica da região do Minho, da rede de 150 kV para a rede de 400 kV (Figura 4.18).



Fig.4.18 – Historial e caracterização da instalação de Pedralva.

O furo da captação de água subterrânea em Pedralva foi realizado com a entrada em serviço da subestação e é caracterizado por uma envolvente rural.

O sistema hídrico subterrâneo da instalação de Pedralva é caracterizado pelo *Complexo Granítico de Braga*, composta por rocha ígnea rica em monzogranito de duas micas, com tendência porfiroide, de grão fino (Granito de Gonça) (Folha 5-D – Braga, 2000) (Figura 4.19).

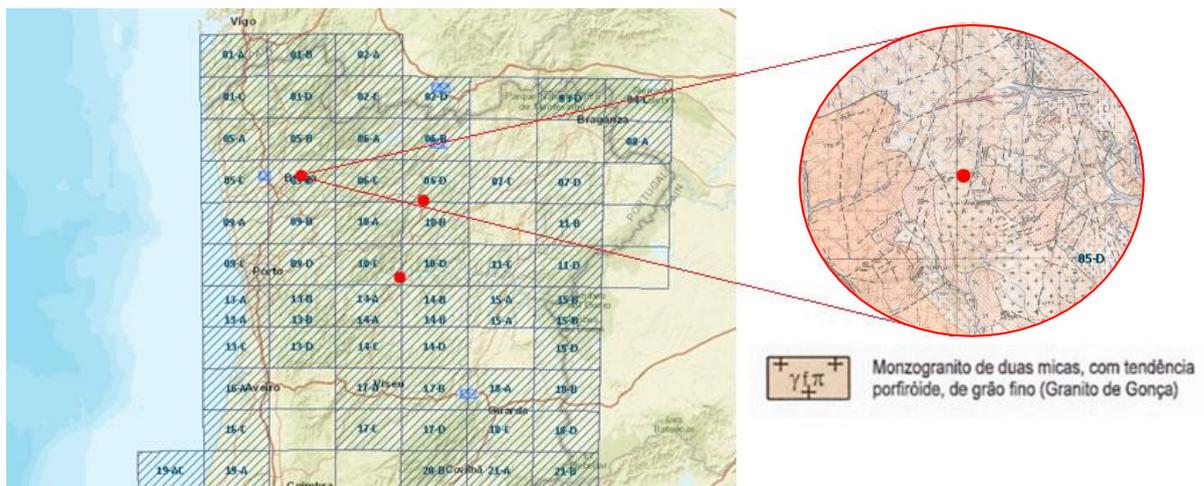


Fig.4.19 – Enquadramento hidrogeológico da subestação de Pedralva. (Fonte: LNEG, 2010b)

Como a subestação de Pedralva é uma instalação recente não existem dados de intervenções.

- **Avaliação da qualidade da água**

Através dos incumprimentos paramétricos observados na Tabela 4.13, é possível que tenha ocorrido um erro de amostragem em 2014, pois a subestação não apresenta sistema de desinfecção.

Em relação ao pH, o seu valor é ligeiramente baixo ao longo dos anos, e pode resultar da natureza do terreno, visto que solos graníticos têm tendência a ser mais ácidos e/ou ser provocado pelas reações dos microrganismos.

A presença de manganês pode resultar da natureza rochosa caracterizada pelo *Granito de Gonça* composta por micas ricas em minerais máficos de ferro e manganês, pois é constante ao longo dos anos.

A subestação de Pedralva é caracterizada por uma água macia, refletindo-se num valor baixo da dureza total da água.

De referir, que não faz parte do plano de monitorização a análise dos parâmetros microbiológicos, pois a finalidade da água destina-se apenas para rega e limpeza.

Tabela 4.13 – Evolução dos incumprimentos paramétricos na instalação de Pedralva.

Incumprimentos	2013	2014	2015	2016	Valor Paramétrico Legislado	Unidades
Desinfetante residual	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
pH	6,3	6	5,6	7,2	≥ 6,5 e ≤ 9	unidade de pH
Manganês	53	28	(2)	36	50	N.º/100 ml
Dureza Total	25	34	33	28	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>

(2) - Parâmetro não analisado

# 5

## FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO

### 5.1. ENQUADRAMENTO

Atualmente a utilização das Tecnologias da Informação é essencial para organizar, rentabilizar e otimizar tempo e recursos. Existem várias tecnologias de informação que apresentam uma enorme vantagem na gestão de dados, especialmente na área do Ambiente, que permitem agregar toda a informação decorrente das várias atividades relacionadas com a gestão de água para consumo humano (Figueiredo, 2012).

No entanto, os sistemas de tratamento de água são soluções associados a custos acrescidos, que por vezes podem inviabilizar o investimento. É por isso prioritário, o estudo e projeto cuidadoso, tal como, o acompanhamento contínuo da qualidade da água, para que se possa usufruir ao máximo dos benefícios destes sistemas (Santos, 2012). Deste modo, considerando o âmbito e objetivos da presente dissertação no enquadramento empresarial, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão, que permitirá o diagnóstico da qualidade da água, assim como, o auxílio ao estudo de propostas de implementação de sistemas de tratamento e a identificação de medidas de controlo.

A ferramenta de apoio à decisão designada por *FerramentaREN*, divide-se em três partes: *Introdução de dados*, *Dados de base* e *Resultados*. A mesma encontra-se organizada de forma a se adaptar a diferentes situações e às especificidades de cada instalação, servindo de referência às restantes. A seguinte Figura 5.1 apresenta de forma esquemática a estrutura da ferramenta.

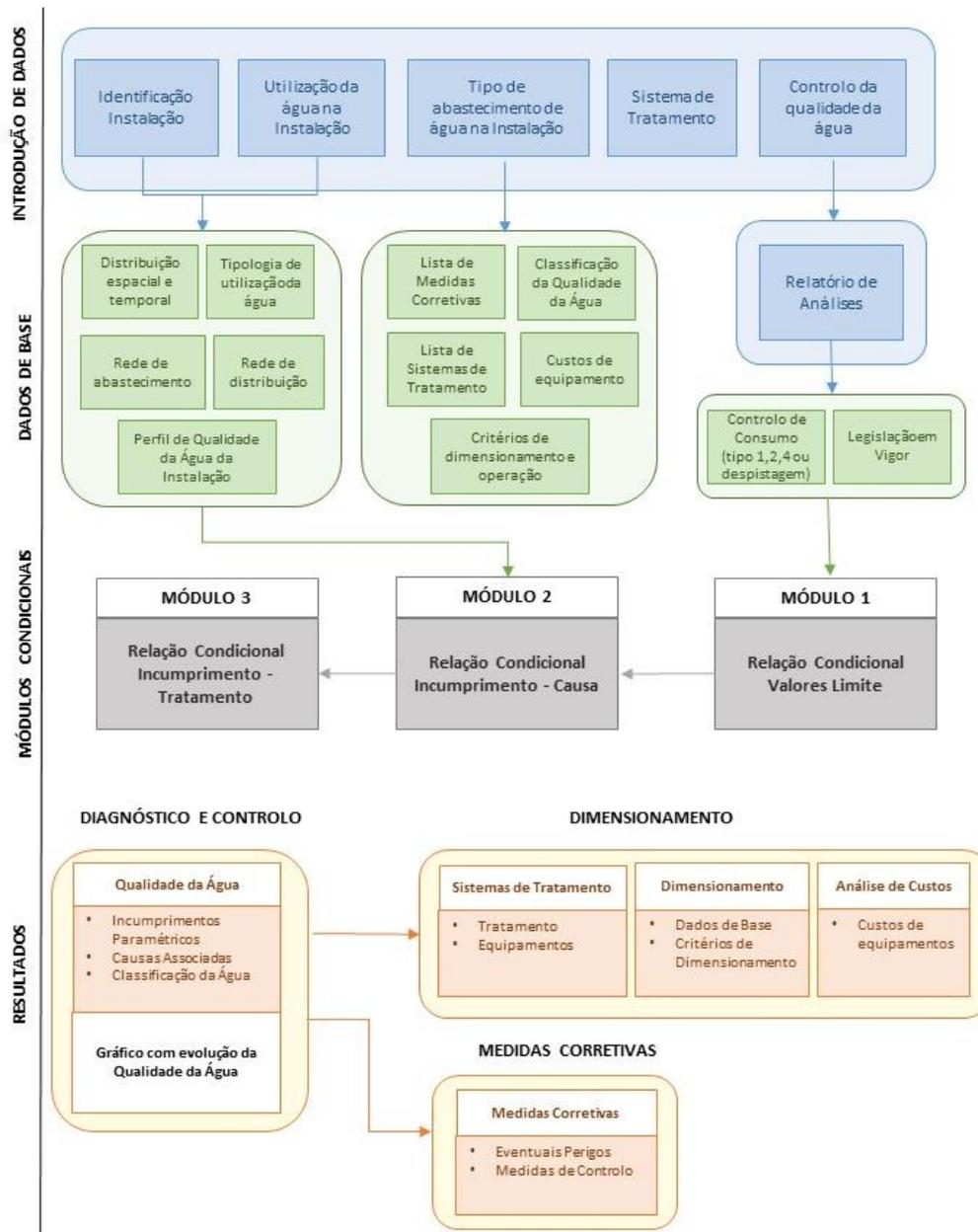


Fig.5.1 – Esquema do funcionamento da *FerramentaREN*.

De forma a considerar a sua utilização futura, a ferramenta desenvolvida é suportada pelo *Microsoft® Office Excel 2016*, e a respetiva programação em *Microsoft® Visual Basic for Applications (VBA)*. Assim, a ferramenta apresenta os seguintes objetivos:

- Sistematizar os dados dos relatórios das análises da qualidade da água de cada instalação;
- Realizar o diagnóstico da qualidade da água dos casos de estudo;
- Identificar os incumprimentos paramétricos e causas associadas à qualidade da água;
- Associar uma Classificação à qualidade da água, permitindo o acompanhamento da evolução da qualidade da mesma, ao longo de um período de 3 anos;
- Analisar uma proposta de tratamento mais adequada à necessidade das instalações;
- Estimar os custos de investimento de equipamentos de tratamento da água;
- E no caso da instalação apresentar sistema de tratamento, identifica um conjunto de medidas de controlo.

## 5.2. INTRODUÇÃO DE DADOS

Na folha de introdução de dados a ferramenta encontra-se dividida em cinco pontos fundamentais: a identificação da instalação, a utilização da água, o tipo de abastecimento de água, a identificação de sistema de tratamento e o controlo da qualidade da água (Figura 5.2).

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'FerramentaREN - Excel'. The main content area is a form for data entry, titled 'INTRODUÇÃO DE DADOS'. The form is organized into five main sections:

- 1. Identificação da instalação:** A dropdown menu is set to 'Fanhões'.
- 2. Utilização da água:** A checkbox for 'Obras na instalação' is unchecked.
- 3. Tipo de abastecimento de água:** A dropdown menu is set to 'Cisterna'.
- 4. Sistema de Tratamento:**
  - 4.1. Desinfeção:** Three checkboxes are unchecked: 'Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio', 'Sistema de Desinfeção com ozono', and 'Sistema de Desinfeção com radiação UV'.
  - 4.2. Filtração:** Three checkboxes are unchecked: 'Filtro fino', 'Filtro de pré-filtração', and 'Filtro de adsorção'.
  - 4.3. Elementos de Suporte:**
    - A checkbox for 'Reservatório de água tratada' is unchecked.
    - 4.3.1. Manutenção:** A dropdown menu is set to 'Não'.
    - A checkbox for 'Sistema de recirculação' is unchecked.
- 5. Controlo da qualidade da água:**
  - 5.1. Data de Controlo:** A dropdown menu is set to 'Dezembro'.
  - 5.2. Tipo de Controlo:** A dropdown menu is set to 'Controlo Consumo Tipo 1'.

At the bottom of the form, there is a button labeled 'RELATÓRIO DE ANÁLISES'. The spreadsheet interface includes a ribbon with tabs like 'File', 'Home', 'Insert', etc., and a grid of columns (B-O) and rows (2-55).

Fig.5.2 – Folha de Introdução de dados.

Na identificação da instalação, o utilizador terá que selecionar a instalação que pretende estudar. Esta opção irá ditar as informações que a ferramenta irá considerar a partir dos dados de base e utilizar durante o processo de simulação, nomeadamente, os relatórios das análises dos anos anteriores.

Caso a instalação em análise tenha sido alvo de reparações ou intervenções, o utilizador deverá seleccionar no ponto da utilização da água, a opção de ocorrência de obras. Esta opção irá influenciar as causas associadas a certos incumprimentos.

Quanto ao tipo de abastecimento de água na instalação o utilizador deverá seleccionar se é realizado por ligação direta ou com recurso a cisterna de armazenamento. A presente escolha terá influência na simulação da solução de sistema de tratamento, a ser apresentada na folha dos resultados.

A escolha do ponto 4 irá ditar a operação dos resultados da ferramenta. Caso a instalação apresente sistema de tratamento, o utilizador deverá seleccionar os equipamentos correspondentes, obtendo-se como resultado as respetivas Medidas Corretivas do sistema. Por outro lado, se não apresentar sistema de tratamento, a ferramenta irá permitir o Dimensionamento.

Por fim, no controlo da qualidade da água será identificada a data do controlo e o tipo de controlo. Dependendo do tipo de controlo seleccionado a ferramenta correrá a folha correspondente. As seguintes Figura 5.3 e Figura 5.4 exemplificam a folha do Relatório de Análises, disponível para ser preenchida pelo utilizador, para o Controlo de Consumo do Tipo 1.

Controlo Consumo Tipo 1			Fanhões (2016)						DIAGNÓSTICO E CONTROLO
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml							Voltar ao Início
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml							
Desinfectante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2							
Controlo de Rotina 2									
Alumínio	200	µg/l Al							
Amónio	0,5	mg/l NH4							
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C							
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C							
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C							
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml							
Cor	20	mg/l PtCo							
pH	6,5-9,0	unidades de pH							
Ferro	200	µg/l Fe							
Manganês	50	µg/l Mn							
Nitratos	50	mg/l NO3							
Nitritos	0,5	mg/l NO2							
Oxidabilidade	5	mg/l O2							
Cheiro	3	Factor de diluição							
Sabor	3	Factor de diluição							
Turvação	4	UNT							
Controlo de Inspecção									
Antimónio	5	µg/l Sb							
Arsénio	10	µg/l As							
Benzeno	1	µg/l							
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l							
Boro	1	mg/l B							
Bromatos	10	µg/l BrO3							
Cádmio	5	µg/l Cd							
Cálcio	-	mg/l Ca							
Chumbo	10	µg/l Pb							
Cianetos	50	µg/l CN							
Cobre	2	mg/l Cu							
Crómio	50	µg/l CN							
1,2-dicloroetano	3	µg/l							
Dureza total	-	mg/l CaCO3							
Enterococos	0	N.º/100 ml							
Fluoretos	1,5	mg/l F							
Magnésio	-	mg/l Mg							
Mercurio	1	µg/l Hg							
Níquel	20	µg/l Ni							
HAP	0,1	µg/l							
Benzo(b)fluoranteno									
Benzo(k)fluoranteno									

Fig.5.3 – Folha de relatório de análises para o Controlo de Consumo Tipo 1.

46	Benzo(ghi)perileno			
47	Indeno(1,2,3-cd)pireno			
48	Pesticidas individuais	0,1	µg/l	
49	Alacloro			
50	Atrazina			
51	Bentazona			
52	Clortolurão			
53	Diurão			
54	Linurão			
55	Terbutilazina			
56	Desetilterbutilazina			
57	Desetiltatrazina			
58	Terbuconazole			
59	Ometoato			
60	Dimetoato			
61	Pesticidas (total)	0,5	µg/l	
62	Selénio	10	µg/l Se	
63	Cloreto	250	mg/l Cl	
64	Tetracloroeteno e tricloroeteno	10	mg/l	
65	Tetracloroeteno			
66	Tricloroeteno			
67	Trihalometanos	100	µg/l	
68	Clorofórmio			
69	Bromodichlorometano			
70	Dibromochlorometano			
71	Bromofórmio			
72	Sódio	200	mg/l Na	
73	Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C	
74	Sulfatos	250	mg/l SO4	
75	Cloreto de vinilo	0,5	µg/l	
76	Epicloridrina	0,1	µg/l	
77	Acrilamida	0,1	µg/l	
78				

Fig.5.4 – Folha de relatório de análises para o Controlo de Consumo Tipo 1 (continuação).

À medida que o utilizador realizar o preenchimento dos campos a verde, e mediante os valores limite estabelecidos pelo Decreto-Lei nº 306/2007, as caixas permanecerão a verde ou ficarão a vermelho, de forma a auxiliar a identificação do incumprimento paramétrico.

De modo a facilitar a futura utilização e acesso dos dados preenchidos no relatório de análises, a ferramenta guarda e atualiza as informações nos respetivos dados de base de cada instalação, permitindo ao utilizador ter sempre acesso aos últimos 3 anos de análise. No caso do Controlo de Consumo Tipo 1 os dados serão guardados no último mês de análise, correspondente a dezembro. Para os restantes controlos, e visto que a monitorização é realizada apenas uma vez por ano, os dados são guardados automaticamente.

### 5.3. DADOS DE BASE GERAIS

Os dados de base, presentes na ferramenta, contêm diversas informações, que serão selecionadas de forma automática e de acordo com as escolhas realizadas na introdução de dados.

A ferramenta encontra-se dividida em duas folhas de dados de base, relativos aos dados gerais e módulos condicionais, e às informações das instalações.

Como foi referido anteriormente e para que o utilizador disponha e aceda ao conjunto de informações, a ferramenta guarda os dados preenchidos, possibilitando ainda a realização de alterações ou acréscimo de dados sempre que necessário.

#### 5.3.1. DADOS BASE

De modo a facilitar a aplicação da ferramenta, os dados de base já se encontram representados em tabelas e listas de associação. As presentes tabelas auxiliares serviram de referência na estruturação e organização da ferramenta, que irão ser utilizadas na simulação dos resultados, nomeadamente na identificação dos incumprimentos paramétricos, causas associadas, classificação da qualidade da água e solução de tratamento.

Este módulo encontra-se dividido em legislação aplicável, categoria dos parâmetros, lista de incumprimentos-causas, tabela de classificação da qualidade da água, lista de medidas corretivas, lista de incumprimentos-tratamentos, lista de sistemas de tratamento e nos custos associados aos equipamentos e acessórios(Figura 5.5).

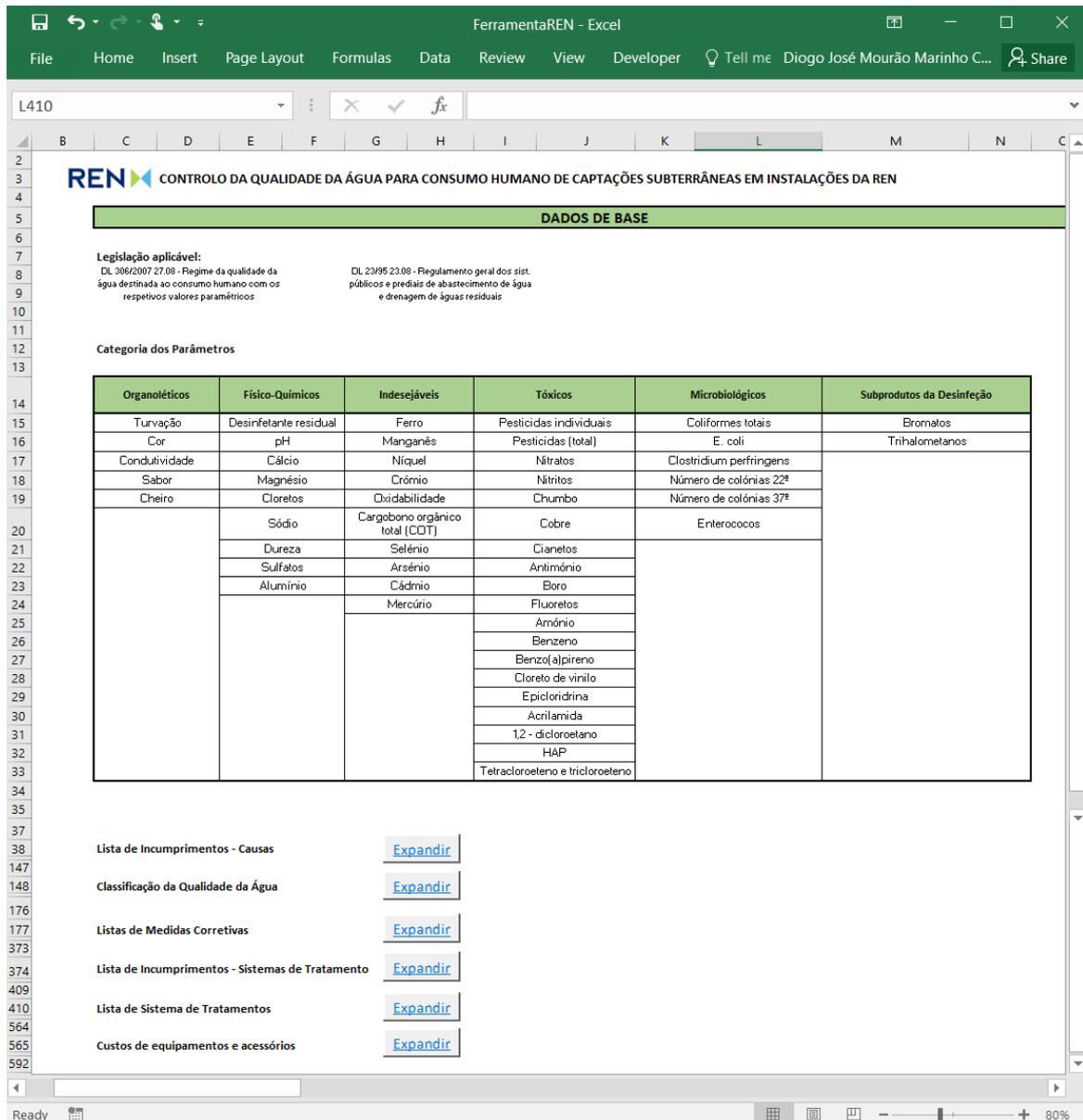


Fig.5.5 – Folha de dados de base.

- **Legislação aplicável**

A indicação da legislação aplicável tem como objetivo informar o utilizador das normas em vigor e das especificações técnicas relacionadas com a qualidade da água para consumo humano.

- **Categoria dos parâmetros**

Esta seção é meramente informativa, e serve de base para organização dos parâmetros em categorias, que serão utilizados na identificação das causas associadas aos incumprimentos paramétricos, na classificação da qualidade da água e na solução de tratamento.

- **Lista de incumprimentos – causas**

A Lista de incumprimentos-causas permite ao utilizador verificar o tipo de causas associadas a cada grupo de incumprimentos, assim como, o tipo de origem das respetivas pressões, nomeadamente naturais, antropogénicas, sistema de tratamento existente ou de outro tipo de causas. Toda a informação teve por base a qualidade natural das águas subterrâneas e as potenciais causas de poluição, analisados no capítulo 2, assim como, eventuais problemas que possam decorrer durante a operação de um sistema de tratamento. A seguinte Tabela 5.1 apresenta as causas possíveis estabelecidas para cada uma das origens. No entanto, a informação é apenas uma sugestão de possíveis causas para um determinado incumprimento, servindo de guia para se chegar à solução do problema.

Tabela 5.1 – Lista de causas associadas aos incumprimentos paramétricos.

Origem	Causas
<b>Naturais</b>	Origem da natureza geológica e/ou do terreno
	Intrusões marinhas
	Associado à presença de sólidos suspensos
	Associado à presença de sólidos dissolvidos
	Associado à atividade microbiológica
<b>Antropogénicas</b>	Associado à ocorrência de cheias
	Falta de desinfetante residual
	Contaminação microbiológica (ou fecal)
	Interação do contacto da água com o material da tubagem e/ou cisterna
	Mau estado de conservação das tubagens e/ou cisterna
	Fenómenos de corrosão
	Formação de depósitos e incrustações
	Falta de manutenção e/ou limpeza
	Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da Instalação
Associado às intervenções na Instalação	
<b>Sistema de Tratamento</b>	Descargas de efluentes residuais urbanos e/ou industriais
	Excesso de desinfetante residual
	Deficiência na dosagem de produtos químicos
	Formação de subprodutos da desinfecção
	Eficiência do processo de desinfecção afetada por outros parâmetros
<b>Outras</b>	Rutura de stock de cloro
	Elevado tempo de permanência da água na rede de abastecimento
	Causas desconhecidas

- **Classificação da qualidade da água**

De modo a ser determinado o tipo de utilização que a água da instalação pode ter, a seguinte Tabela 5.2 estabelece uma classificação entre 1 a 10, para cada tipo de qualidade da água, onde a classificação 1 representa uma água que cumpre todos os requisitos de qualidade para consumo e a classificação 10 a pior situação, relativa à presença de substâncias tóxicas, como por exemplo pesticidas. Esta análise por um lado teve em consideração os incumprimentos paramétricos, e por outro, a complexidade dos tratamentos necessários ao restabelecimento da qualidade da água.

Tabela 5.2 – Classificação da qualidade da água.

Tipo	Categoria dos Parâmetros	Incumprimentos Obrigatórios	Condição	Classificação da Qualidade da Água
1	Nenhum			Tipo 1 – Água cumpre todos os requisitos para consumo
2	Físico-químico	Desinfetante residual	<0,2	Tipo 2 – Água própria para consumo pois não apresenta microrganismos
		pH	>5,5 e <9,5	
		Dureza total	<800	
3	Organoléticos Físico-químico	Parâmetros Organoléticos		Tipo 3 – Água não cumpre os requisitos limite dos parâmetros organoléticos e/ou apresenta minerais
4	Físico-químico Microbiológicos	Desinfetante residual	<0,2	Tipo 4 – Água necessita de desinfetante residual devido à presença de microrganismos
5	Físico-químico Microbiológicos Organoléticos	Desinfetante residual	<0,2	Tipo 5 - Água necessita de desinfetante residual devido à presença de microrganismos, apresenta incumprimentos organoléticos e ainda pode conter minerais
6	Físico-químico Microbiológicos Organoléticos	Desinfetante residual	0,2-0,6	Tipo 6 – Água apresenta desinfetante residual, no entanto, apresenta incumprimentos microbiológicos, e pode apresentar parâmetros organoléticos e/ou minerais
7	Físico-químico Subprodutos	Desinfetante residual	>0,6	Tipo 7 – A água apresenta excesso de desinfetante e/ou presença de subprodutos
		Subprodutos		
8	Substâncias Indesejáveis	Ferro		Tipo 8 – Água apresenta substâncias indesejáveis de Ferro e/ou Manganês
		Manganês		
9	Substâncias Indesejáveis	Substâncias Indesejáveis		Tipo 9 – Água apresenta substâncias indesejáveis
10	Substâncias Tóxicas	Substâncias Tóxicas		Tipo 10 - Água apresenta substâncias tóxicas

- **Lista de medidas corretivas**

Nesta seção as informações irão ser utilizadas consoante a seleção realizada na introdução de dados, específica aos equipamentos característicos dos sistemas de tratamento de água. Assim, para cada elemento do sistema de abastecimento e etapas de tratamento, e com base no Guia Técnico nº 7 *Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano* (Morais *et al.*, 2005), encontram-se associadas aos dados de base tabelas com a identificação de eventuais perigos e exemplos de medidas de controlo, que servirão de referência para a realização de guias de rotina e procedimentos de inspeções destes sistemas.

- **Lista de incumprimentos – tratamento**

Na lista dos incumprimentos-tratamentos são apresentados os processos e as operações de tratamento baseada na presença de incumprimentos paramétricos e no tipo de abastecimento de água. No entanto, apenas foram criadas sequências de tratamento para certos incumprimentos, ficando os restantes sujeitos ao estudo de alternativas (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Processos e operações da solução de tratamento.

Incumprimentos paramétricos	Tipo de abastecimento	Solução de tratamento	Etapas de tratamento
Desinfetante residual e/ou Microrganismos	Cisterna	Pré-filtração + Filtração + Desinfecção	Filtro de aço inox + filtro de fibra sintética + desinfecção com hipoclorito de sódio
	Ligação direta		Filtro de aço inox + filtro de fibra sintética + desinfecção com radiação UV
Ferro, Manganês, Níquel, Cor, Turvação, Sabor	Cisterna	Pré-oxidação + Pré-filtração + Filtração + Desinfecção	Pré-oxidação com hipoclorito de sódio + filtro de aço inox + filtro de fibra sintética + desinfecção com hipoclorito de sódio
	Ligação direta		
Nitratos, Pesticidas	Cisterna	Pré-filtração + Filtração + Desinfecção	Filtro de adsorção + desinfecção com hipoclorito de sódio
	Ligação direta		
Restantes parâmetros	Cisterna	Alternativa	Ligação à rede pública
	Ligação direta		Pesquisa de alternativas de sistemas de tratamento

- **Lista de sistema de tratamento: tratamento, equipamentos, critérios de dimensionamento e custos associados.**

Para cada processo de tratamento foi especificado um conjunto de tecnologias de referência baseado nas necessidades e dimensões dos sistemas em estudo, e nos critérios analisados no capítulo 3. A gama de equipamentos selecionada teve em consideração, por um lado, a capacidade e os consumos das instalações, a compatibilidade de sistemas de pequenas dimensões, a flexibilidade dos processos, e por outro, elementos automáticos de fácil manuseamento, que requeiram menos controlo operacional (Tabela 5.4).

O conjunto de equipamentos e acessórios selecionados surgiu também da necessidade de se estimar custos dos mesmos. No entanto, a instalação de um sistema de tratamento de águas acarreta uma série de custos, nomeadamente de toda a rede hidráulica de abastecimento, como tubagens e acessórios, equipamentos de bombagens, os próprios custos de construção, custos de tratamento, custos de manutenção, que não foram considerados no presente estudo.

Tabela 5.4 – Sistemas de tratamento e respetivos equipamentos.

Sistema de Tratamento		Equipamentos	Análise de Custos (€)
Pré-oxidação e/ou Desinfecção	Hipoclorito de sódio	Bomba doseadora	500
		Controlador químico automático	500
		Sondas de pH e cloro residual	100
		Célula de fluxo	80
		Depósito de desinfetante	45
Desinfecção	Sistema UV	Câmara de desinfecção UV	3.000-4.000
		Balastro	
		Sensores de intensidade de radiação UV	
		Lâmpadas UV de baixa pressão	200
Filtração	Filtro fino	Fibra sintética	30-40
	Filtro adsorção	Carvão ativado	50-60
	Suporte de Filtro	Suporte cartucho	50-70
Pré-Filtração	Filtro grosso	Aço inox	100
	Suporte de Filtro	Suporte cartucho	50-70

### 5.3.2. DADOS DAS INSTALAÇÕES

A segunda folha de dados, e tal como o nome indica, é respetiva à informação de cada instalação (Figura 5.6).

Nas informações das instalações, foram então compiladas as características da distribuição espacial e temporal, da rede de abastecimento e distribuição, do tipo de utilização de água e o perfil da qualidade da água, correspondente à presente instalação, apresentadas anteriormente no capítulo 4. Como foi referido, e para se analisar a evolução da qualidade da água, nesta secção encontram-se também os dados das análises respetivos aos anos de 2013 a 2015, para os diferentes tipos de controlo de consumo correspondentes aos planos de monitorização de cada instalação. À medida que se utiliza a ferramenta, estes dados são sempre atualizados, de modo a que na análise se encontrem os valores dos últimos 3 anos.

Por fim, e através da Tabela 5.2, a ferramenta atribui uma classificação à qualidade da água que será guardada nesta secção e que posteriormente será utilizada no gráfico da folha do diagnóstico.

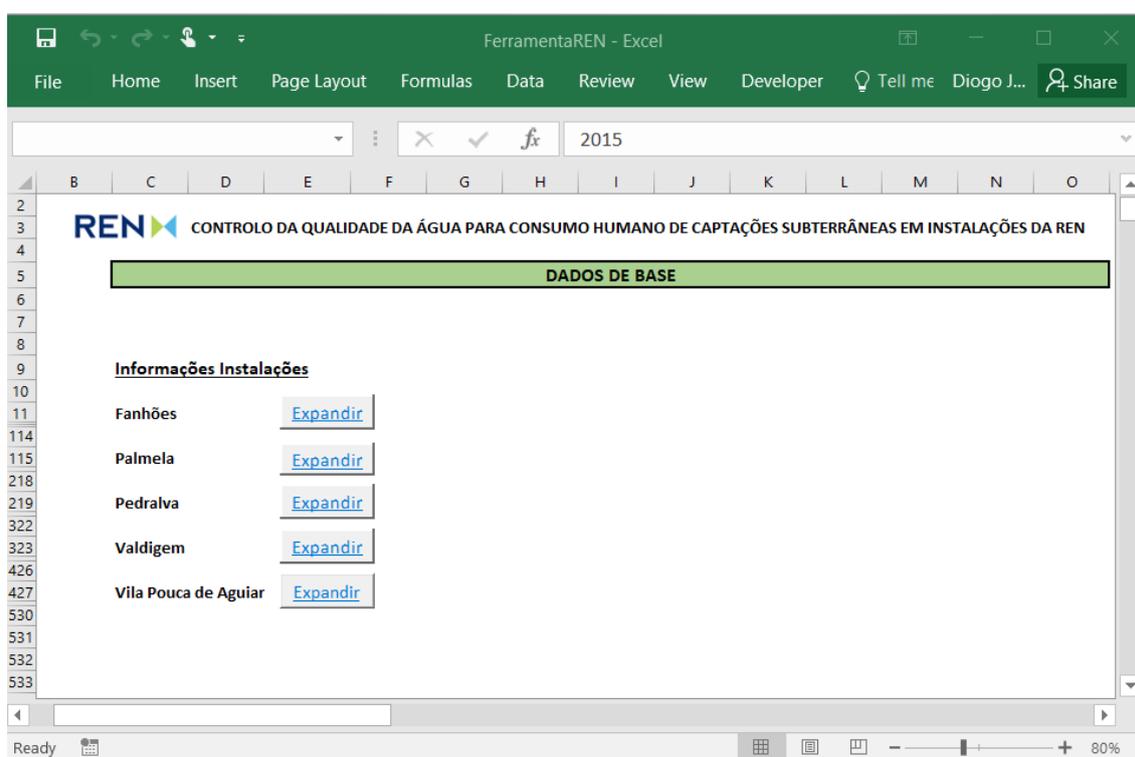


Fig.5.6 – Folhas de dados das instalações.

## 5.4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A ferramenta apresenta três folhas de apresentação de resultados relativos ao *Diagnóstico*, ao *Dimensionamento* e às *Medidas Corretivas*.

### 5.4.1. DIAGNÓSTICO

Preenchida a folha do relatório de análises, numa primeira fase a ferramenta permite a identificação dos incumprimentos paramétricos, assim como, o acompanhamento dos seus valores nos últimos 3 anos anteriores. Este passo de identificação dos incumprimentos é um elemento determinante pois irá ditar a proposta da solução de tratamento.

Identificados os incumprimentos a ferramenta corre as possíveis causas associadas, que dependem dos dados e condições selecionados na introdução de dados (Figura 5.7).

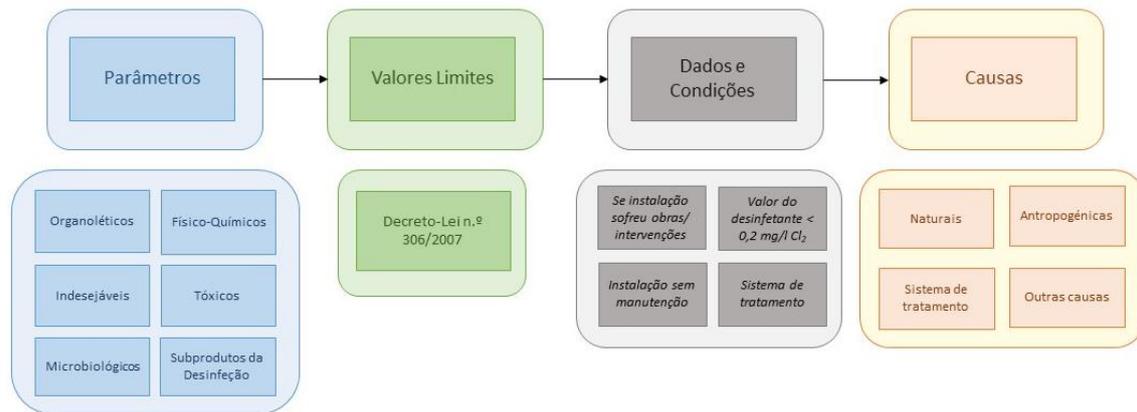


Fig.5.7 – Esquema relação incumprimento-causa.

Por fim, a ferramenta lê os incumprimentos e estabelece uma classificação, de acordo com a Tabela 5.2, representando um gráfico, que permitirá ao utilizador acompanhar a evolução da qualidade da água dos últimos 3 anos e do ano em estudo. No caso do Controlo de Consumo Tipo 1 a ferramenta tem em consideração todos os incumprimentos registados durante os seis meses de análise.

Nesta folha de resultados e, mediante a instalação em estudo presente ou não sistema de tratamento, a ferramenta permite a seguir dois cenários de resultados: o dimensionamento ou as medidas corretivas.

De uma forma sintetizada o Diagnóstico é realizado da seguinte forma:

1. A ferramenta identifica os campos de coloração vermelha, presentes na folha do relatório de análises, e apresenta os incumprimentos paramétricos;
2. Mediante a instalação em estudo, vai buscar aos dados de base os valores paramétricos correspondentes para o incumprimento, dos últimos 3 anos;
3. Localiza os incumprimentos nos dados de base e lê na lista de incumprimentos-causas a respetiva causa associada.
4. Analisa os incumprimentos e estabelece um valor de classificação;
5. Representa o gráfico da qualidade da água na folha do diagnóstico.

#### 5.4.2. DIMENSIONAMENTO

Na folha de resultados do dimensionamento, a proposta da solução de tratamento é realizada tendo por base a ocorrência dos incumprimentos paramétricos, e ainda pelo tipo de abastecimento realizado na instalação, ou seja, realizado por cisterna ou por ligação direta (Figura 5.8).

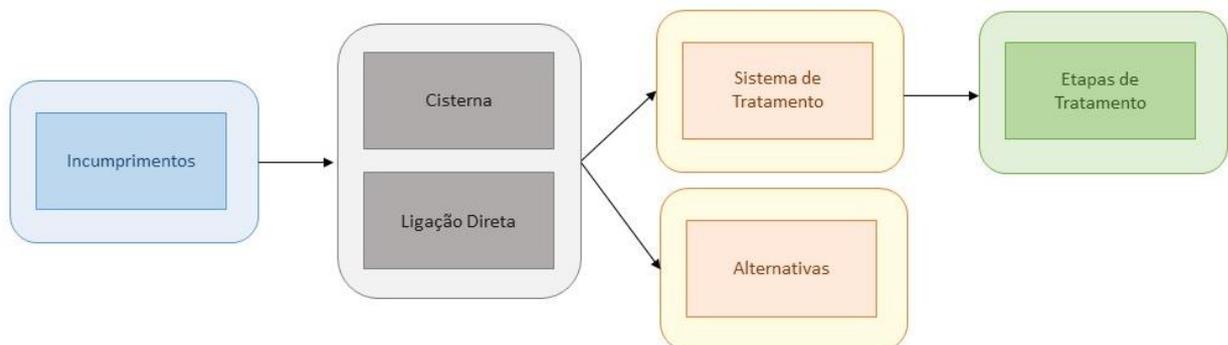


Fig.5.8 – Esquema relação incumprimento-tratamento.

Numa primeira fase, é identificada a solução de tratamento e os respetivos equipamentos necessários, assim como uma breve descrição dos mesmos e o objetivo da sua utilização. De referir, que foram utilizados equipamentos de referência, associados a uma escala pequena.

Em seguida, serão associados a estes equipamentos, alguns critérios de dimensionamento, assim como, as respetivas referências bibliográficas. Por fim, será possível obter-se uma estimativa de custos associada à aquisição destes equipamentos.

De uma forma sintetizada o Dimensionamento é realizado da seguinte forma:

1. A ferramenta identifica os incumprimentos paramétricos obtidos na folha do diagnóstico;
2. Mediante o tipo de abastecimento realizado na instalação, selecionado na introdução de dados, relaciona a solução de tratamento;
3. Obtida a solução de tratamento, corre o tipo de equipamentos e acessórios correspondentes e apresenta uma breve descrição dos mesmos;
4. Para cada equipamento, a ferramenta vai buscar aos dados de base, as tabelas correspondentes com as informações dos critérios de dimensionamento;
5. A cada equipamento e acessório de referência, encontram-se associados os custos.

Numa pasta em anexo, encontra-se toda a documentação referente a manuais de instrução, fichas técnicas e de segurança e ainda guias e normativos dos equipamentos e reagentes.

De referir que o Dimensionamento para o Controlo Tipo 1 só pode ser realizado no fecho do ano de dezembro e tem em contabilidade os incumprimentos registados durante os meses todos de análise.

#### 5.4.3. MEDIDAS CORRETIVAS

No caso da instalação apresentar sistema de tratamento e se terem verificado incumprimentos paramétricos, a ferramenta tem a funcionalidade de apresentar tabelas sugestivas de medidas de controlo, para cada elemento do sistema de abastecimento e processo de tratamento (Figura 5.9).

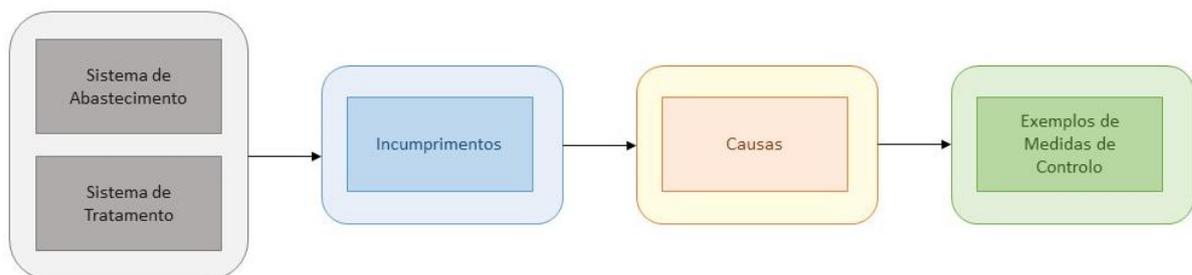


Fig.5.9 – Esquema medidas corretivas.

De uma forma sintetizada o resultado das Medidas Corretivas é realizado da seguinte forma:

1. Consoante a escolha de sistema de tratamento, na introdução de dados, a ferramenta assume que a folha de resultados irá ser referente às Medidas Corretivas;
2. Mediante a seleção dos elementos correspondentes ao sistema de tratamento, a ferramenta corre as tabelas das medidas corretivas dos dados de base;
3. Nas tabelas de resultados são apresentados os eventuais perigos e medidas de controlo para os elementos caraterísticos do sistema de abastecimento e sistema de tratamento.

Deste modo, pretende-se que esta folha sirva de guia de apoio para se garantir o bom funcionamento e manutenção dos sistemas globais.

## **5.5. APLICAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO**

De forma a se determinar a funcionalidade e, posteriormente se proceder à validação da ferramenta de apoio à decisão, foram aplicados e analisados os resultados dos diferentes casos de estudo. Para tal, foram utilizadas as cinco instalações analisadas no capítulo 4. No entanto, apenas serão apresentados dois casos de estudo, correspondentes à subestação de Valdigem (instalação com sistema de tratamento) e à subestação de Fanhões (instalação sem sistema de tratamento), por forma a exemplificar as duas vias de resultados que a ferramenta poderá simular. Os restantes resultados poderão ser verificados no Anexo C.

### **5.5.1. RESULTADOS E ANÁLISES DA SUBESTAÇÃO DE VALDIGEM**

Como foi referido anteriormente, um dos casos de estudo foi a instalação de Valdigem caracterizada por um sistema de tratamento e por um plano de monitorização de Controlo de Consumo Tipo 2, que engloba colaboradores em permanência e um abastecimento realizado pela captação de água por um furo e com recurso a uma cisterna de armazenamento. Durante o preenchimento da folha de introdução de dados, foram selecionados os elementos correspondentes ao sistema de tratamento da instalação e verificou-se que a cisterna de armazenamento de água tratada não sofreu qualquer tipo de manutenção, que irá influenciar a qualidade bacteriológica da água tratada, como veremos posteriormente (Figura 5.10 e 5.11).

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**INTRODUÇÃO DE DADOS**

1. Identificação da instalação Valdigem

2. Utilização da água

Obras na instalação

3. Tipo de abastecimento de água Cisterna

4. Sistema de Tratamento Sim

4.1. Desinfeção

Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio

Sistema de Desinfeção com ozono

Sistema de Desinfeção com radiação UV

4.2. Filtração

Filtro fino

Filtro de pré-filtração

Filtro de adsorção

4.3. Elementos de Suporte

Reservatório de água tratada

4.3.1. Manutenção Não

Sistema de recirculação

5. Controlo da qualidade da água

5.1. Data de Controlo Dezembro

5.2. Tipo de Controlo Controlo Consumo Tipo 2

RELATÓRIO DE ANÁLISES

Fig.5.10 – Folha de introdução de dados para a instalação de Valdigem.

Controlo Consumo Tipo 2			Validagem (2016)			
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade				Dezembro
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml				0
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml				0
Desinfetante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2				0,1
Controlo de Rotina 2						
Alumínio	200	µg/l Al				34
Amónio	0,5	mg/l NH4				0,02
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C				239
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C				224
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C				400
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml				0
Cor	20	mg/l PtCo				2,9
pH	6,5-9,0	unidades de pH				7,6
Ferro	200	µg/l Fe				50
Manganês	50	µg/l Mn				15
Nitratos	50	mg/l NO3				17
Nitritos	0,5	mg/l NO2				0,02
Oxidabilidade	5	mg/l O2				2,6
Cheiro	3	Factor de diluição				1
Sabor	3	Factor de diluição				1
Turvação	4	UNT				0,65
Controlo de Inspeção						
Antimónio	5	µg/l Sb				
Arsénio	10	µg/l As				
Benzeno	1	µg/l				
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l				
Boro	1	mg/l B				
Bromatos	10	µg/l BrO3				
Cádmio	5	µg/l Cd				
Cálcio	-	mg/l Ca				
Chumbo	10	µg/l Pb				3
Cianetos	50	µg/l CN				
Cobre	2	mg/l Cu				
Crómio	50	µg/l CN				
1,2-dicloroetano	3	µg/l				
Dureza total	-	mg/l CaCO3				175
Enterococos	0	N.º/100 ml				0
Fluoretos	1,5	mg/l F				0,6
Magnésio	-	mg/l Mg				5,4
Mercurio	1	µg/l Hg				0,2
Níquel	20	µg/l Ni				
HAP	0,1	µg/l				
Benzo(b)fluoranteno						
Benzo(k)fluoranteno						
Benzo(ghi)perileno						
Indeno(1,2,3-cd)pireno						
Pesticidas individuais	0,1	µg/l				
Alacloro						0,025
Atrazina						
Bentazona						
Clortolurão						
Diurão						0,025
Linurão						0,025
Terbutilazina						0,025
Desetilterbutilazina						0,025
Desetilatrazina						0,025
Terbuconazole						0,025
Ometoato						
Dimetoato						
Pesticidas (total)	0,5	µg/l				0,025
Selénio	10	µg/l Se				
Cloretos	250	mg/l Cl				
Tetracloroetano e tricloroetano	10	mg/l				
Tetracloroetano						
Tricloroetano						
Trihalometanos	100	µg/l				
Clorofórmio						
Bromodichlorometano						
Dibromoclorometano						
Bromofórmio						
Sódio	200	mg/l Na				
Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C				
Sulfatos	250	mg/l SO4				
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l				0,06
Epicloridrina	0,1	µg/l				
Acrlamida	0,1	µg/l				

Fig.5.11 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 2 para a instalação de Validagem.

Preenchida a folha representativa do relatório de análises, obteve-se o diagnóstico da qualidade da água e o gráfico da classificação, apresentadas respetivamente nas Figura 5.12 e Figura 5.13.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Share

F17

REN CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

DIAGNÓSTICO E CONTROLO [Voltar ao Início](#)

Incumprimentos Paramétricos	Valores Registados																		Valor Limite	Unidades
	2016		2013					2014					2015							
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro		
Desinfetante residual	0,1																	0,1	0,2 - 0,6	mg/l Cl2
Número de colónias 22°C	239																	300	Sem alteração anual	N.º/ml a 22°C
Número de colónias 37°C	224																	300	Sem alteração anual	N.º/ml a 37°C

Incumprimentos Paramétricos	Causas			
	Antropogénicas	Naturais	Outras	Sistema de tratamento
Desinfetante residual	Falta de desinfetante residual			Deterioração da qualidade da água e concentração de desinfetante na rede Processos unitários de tratamento inadequados ou equipamento deficiente
Número de colónias 22°C	Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da instalação		Elevado tempo de permanência da água na rede de abastecimento	Processos unitários de tratamento inadequados ou equipamento deficiente
Número de colónias 37°C	Contaminação microbiológica (ou fecal) Falta de desinfetante residual Falta de manutenção e/ou limpeza dos elementos de abastecimento			Deterioração bacteriológica da água e concentração de desinfetante na rede

Ready 70%

Fig.5.12 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Valdigem.

Através da folha do Diagnóstico foi possível identificar-se os incumprimentos paramétricos e acompanhar a evolução dos mesmos nos últimos 3 anos. Assim, e com auxílio da Figura 5.12 verificou-se que ao longo dos anos a falta de desinfetante era persistente, refletindo-se no desenvolvimento de microrganismos. Como ambos os parâmetros se encontram associados entre si, as causas associadas vão ser coincidentes. A ferramenta relaciona estes incumprimentos a causas antropogénicas, associadas à zona envolvente rural/agrícola que pode resultar de contaminações microbiológicas, da falta de manutenção e/ou limpeza da cisterna e, ainda do elevado tempo de permanência da água na rede de abastecimento. Relativamente às falhas no sistema de tratamento estes podem resultar da deterioração bacteriológica da qualidade da água por falta de desinfetante, ou do inadequado funcionamento dos processos unitários de tratamento.

O gráfico da evolução da qualidade da água permite reconhecer que a água não é própria para consumo e tem mantido a mesma qualidade do tipo 4, que apresenta uma necessidade de desinfetante residual para impedir o desenvolvimento de microrganismos.



Fig.5.13 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Valdigem.

Visto que a instalação já apresenta sistema de tratamento, a ferramenta simula um conjunto de medidas controlo e procedimentos de inspeção, que o operador deverá ter em consideração, para cada um dos elementos do sistema de tratamento e do sistema de abastecimento (Figura 5.14 e Figura 5.15). De referir que no caso da desinfecção, a ferramenta considera que o controlador químico automático já fazia parte do sistema.

CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA (POÇOS E FUROS)		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Quantidade insuficiente de água disponível para captação	Garantir a existência de planos de emergência
	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Garantir caudal de exploração adequado Garantir existência de bomba de substituição Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
Parâmetros Microbiológicos	Contaminação do poço/furo	Garantir que os materiais e revestimentos da captação se encontram em bom estado
Parâmetros Organolépticos		Garantir a proteção da zona de captação a vulnerabilidades externas
Parâmetros Físico-químicos		
Parâmetros Indesejáveis		
Parâmetros Tóxicos	Estragos na cabeça do poço	Garantir correta vedação

Fig.5.14 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Valdigem.

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Fugas de água nas condutas	Estabelecer um programa de deteção de fugas
	Variações de pressão	Instalar acessórios que previnam pressões negativas e fluxo inverso nas condutas
Parâmetros Microbiológicos	Acumulação de sedimentos ou biofilmes	Estabelecer programa de limpeza
Parâmetros Microbiológicos	Estado de conservação de condutas	Garantir um residual de cloro adequado a montante e a jusante do local onde se faz a reparação ou a instalação da nova conduta
Parâmetros Indesejáveis		Garantir a existência de um plano de manutenção
Parâmetros Organoletóricos		Fazer inspeções regulares preventivas
Parâmetros Tóxicos		

SISTEMA DE DESINFECÇÃO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Parâmetros Microbiológicos	Dosagem incorreta de desinfetante	Proceder a ajustes de dosagens de hipoclorito de sódio Obter informação consistente do caudal e volume de água a tratar Verificação de obstruções dos tubos de aspiração Verificação do ponto de injeção
	Mau funcionamento do sistema doseador	Garantir a existência de um plano de manutenção para o sistema doseador Garantir a existência de um plano de calibração do equipamento Garantir a existência de bombas de substituição
Parâmetros Físico-químicos	Mau funcionamento do controlador	Verificar conformidade dos registos do controlador
		Ter em consideração o tempo de vida, manutenção e limpeza de acessórios Garantir a existência de um plano de calibração do equipamento cloro for incorreta
Subprodutos da Desinfecção	Depósito de desinfetante	Acompanhamento do nível de solução de hipoclorito de sódio no depósito Garantir a existência de desinfetante no depósito Fazer gestão eficiente do stock Inspeccionar e remover de sólidos depositados no depósito
Parâmetros Microbiológicos	Tempo insuficiente de contacto da água com o desinfetante	Ajustar caudais de forma a promover um tempo de contacto mínimo de 30 minutos
Parâmetros Físico-químicos		

SISTEMA DE FILTRAÇÃO		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Parâmetros Microbiológicos	Perda de carga	Obter informação consistente do caudal e volume de água a tratar Verificação do aumento máximo admissível da pressão nos filtros Ter em consideração as características do meio filtrante
		Parâmetros Organoletóricos
Parâmetros Físico-químicos		
		Parâmetros Indesejáveis
Indução de curtos-circuitos	Deficiente controlo da coluna de água sobre o leito filtrante	

SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Manutenção do depósito autoclave e do grupo hidropressor Garantir pressão adequada Garantir caudal de exploração adequado Garantir existência de equipamentos de substituição Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
		Parâmetros Microbiológicos
Estagnação da água		

RESERVATÓRIO DE ÁGUA TRATADA		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Garantir a manutenção do reservatório e acessórios Manutenção do depósito autoclave e do grupo hidropressor Garantir pressão adequada Garantir caudal de exploração adequado Garantir existência de bomba de substituição Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
		Parâmetros Microbiológicos
Parâmetros Indesejáveis		
		Parâmetros Microbiológicos
Estagnação da água	Deterioração bacteriológica da água no reservatório de água tratada	

Fig.5.15 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Valdigem (continuação).

### 5.5.2. RESULTADOS E ANÁLISES DA SUBESTAÇÃO DE FANHÕES

Foi também analisada a instalação de Fanhões, com o objetivo de se obter uma solução de tratamento mais adequada à situação da qualidade da água. Na subestação de Fanhões é realizado um Controlo de Consumo Tipo 1 caracterizado por colaboradores sem permanência e um abastecimento realizado pela captação de água por um furo e com recurso a uma cisterna de armazenamento. Para tal, foram preenchidas as folhas de introdução de dados (Figura 5.16 e 5.17).

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled 'FerramentaREN - Excel' with a green header bar. The spreadsheet contains a form for data entry, titled 'INTRODUÇÃO DE DADOS' in a green box. The form is organized into several sections:

- 1. Identificação da instalação:** A dropdown menu with 'Fanhões' selected.
- 2. Utilização da água:** A checkbox labeled 'Obras na instalação' which is checked.
- 3. Tipo de abastecimento de água:** A dropdown menu with 'Cisterna' selected.
- 4. Sistema de Tratamento:** A dropdown menu with 'Não' selected.
  - 4.1. Desinfeção:** Three checkboxes: 'Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio', 'Sistema de Desinfeção com ozono', and 'Sistema de Desinfeção com radiação UV', all of which are unchecked.
  - 4.2. Filtração:** Three checkboxes: 'Filtro fino', 'Filtro de pré-filtração', and 'Filtro de adsorção', all of which are unchecked.
  - 4.3. Elementos de Suporte:** A checkbox for 'Reservatório de água tratada' is unchecked. Below it, '4.3.1. Manutenção' has a dropdown menu with 'Não' selected. A checkbox for 'Sistema de recirculação' is also unchecked.
- 5. Controlo da qualidade da água:**
  - 5.1. Data de Controlo:** A dropdown menu with 'Dezembro' selected.
  - 5.2. Tipo de Controlo:** A dropdown menu with 'Controlo Consumo Tipo 1' selected.

At the bottom of the form, there is a button labeled 'RELATÓRIO DE ANÁLISES'. The spreadsheet interface includes a ribbon with tabs like 'File', 'Home', 'Insert', etc., and a status bar at the bottom showing 'Ready' and '100%' zoom.

Fig.5.16 – Folha de introdução de dados para a instalação de Fanhões.

Controlo Consumo Tipo 1			Fanhões (2016)					
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml			0	0	0	0
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml			0	0	0	0
Desinfetante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2			0,1	0,1	0,1	0,1
Controlo de Rotina 2								
Alumínio	200	µg/l Al					40	
Amónio	0,5	mg/l NH4					0,02	
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C					184	
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C					300	
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C					343	
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml					0	
Cor	20	mg/l PtCo					2	
pH	6,5-9,0	unidades de pH					8,1	
Ferro	200	µg/l Fe					710	
Manganês	50	µg/l Mn					15	
Nitratos	50	mg/l NO3					10	
Nitritos	0,5	mg/l NO2					0,02	
Oxidabilidade	5	mg/l O2					1	
Cheiro	3	Factor de diluição					1	
Sabor	3	Factor de diluição					1	
Turvação	4	UNT					5,6	
Controlo de Inspeção								
Antimónio	5	µg/l Sb					3,5	
Arsénio	10	µg/l As					3	
Benzeno	1	µg/l					0,5	
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l					0,002	
Boro	1	mg/l B					0,3	
Bromatos	10	µg/l BrO3					5	
Cádmio	5	µg/l Cd					1	
Cálcio	-	mg/l Ca					31	
Chumbo	10	µg/l Pb					3	
Cianetos	50	µg/l CN					15	
Cobre	2	mg/l Cu					0,01	
Crómio	50	µg/l CN					2	
1,2-dicloroetano	3	µg/l					0,5	
Dureza total	-	mg/l CaCO3					210	
Enterococos	0	N.º/100 ml					0	
Fluoretos	1,5	mg/l F					0,9	
Magnésio	-	mg/l Mg					31	
Mercuríio	1	µg/l Hg					0,2	
Níquel	20	µg/l Ni					5	
HAP	0,1	µg/l						
Benzo(b)fluoranteno							0,005	
Benzo(k)fluoranteno							0,002	
Benzo(ghi)perileno							0,004	
Indeno(1,2,3-cd)pireno							0,004	
Pesticidas individuais	0,1	µg/l						
Alacloro								
Atrazina								
Bentazona								
Clortolurão								
Diurão							0,025	
Linurão							0,025	
Terbutilazina							0,025	
Desetilterbutilazina							0,025	
Desetiltatrazina								
Terbuconazole								
Ometoato								
Dimetoato								
Pesticidas (total)	0,5	µg/l					0,025	
Selénio	10	µg/l Se					3	
Cloretos	250	mg/l Cl					35	
Tetracloroetano e tricloroetano	10	mg/l						
Tetracloroetano							3	
Tricloroetano							0,5	
Trihalometanos	100	µg/l						
Clorofórmio							3	
Bromodiclorometano							3	
Dibromoclorometano							3	
Bromofórmio							3	
Sódio	200	mg/l Na					34	
Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C					3,9	
Sulfatos	250	mg/l SO4					10	
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l					0,5	
Epicloridrina	0,1	µg/l					0,06	
Acrlamida	0,1	µg/l					0,1	

Fig.5.17 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 1 para a instalação de Fanhões.

De referir que os campos correspondentes a fevereiro e abril se encontram em branco pois não foram realizadas amostragens nesses meses. As seguintes Figura 5.18 e Figura 5.19 apresentam os resultados obtidos para o diagnóstico da qualidade da água e a representação gráfica da qualidade da água respetivamente.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Share

A1

REN CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

DIAGNÓSTICO E CONTROLO [Voltar ao Início](#)

Incumprimentos Paramétricos	Valores Registados																		Valor Limite	Unidades	
	2016		2013				2014				2015										
	Outubro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro			Dezembro
Desinfetante residual	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2 - 0,6	mg/l Cl2
Número de colónias 22°C	184		62			300			0			0			300			86		Sem alteração anor	N.º/ml a 22°C
Número de colónias 37°C	300		86			300			18			0			138			300		Sem alteração anor	N.º/ml a 37°C
Ferro	710		69			220			50			84			110			2400		200	µg/l Fe
Turvação	5,6		0,9			7,8			0,5			0,5			1,2			0,8		4	UNT

Incumprimentos Paramétricos	Causas			
	Antropogénicas	Naturais	Outras	Sistema de tratamento
Desinfetante residual	Falta de desinfetante residual			
Número de colónias 22°C	Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da Instalação			Elevado tempo de permanência da água na rede de abastecimento
Número de colónias 37°C	Contaminação microbiológica (ou fecal) Falta de desinfetante residual Falta de manutenção e/ou limpeza dos elementos de abastecimento			
Ferro	Interação do contacto da água com o material da tubagem e/ou cisterna Fenómenos de corrosão Mau estado de conservação das tubagens e/ou cisterna Associado às intervenções na Instalação			
Turvação	Interação do contacto da água com o material da tubagem e/ou cisterna	Associado à presença de sólidos suspensos		

Fig.5.18 – Folha do Diagnóstico de outubro para a instalação de Fanhões.

Como a ferramenta apenas identifica os incumprimentos e respetivas causas para o mês de análise, optou-se por apresentar a folha do diagnóstico relativo ao mês de outubro, por englobar uma monitorização de todos os parâmetros. Assim, através dos resultados do diagnóstico constatou-se que a falta de desinfetante iria ser refletida numa presença de microrganismos, possivelmente provocada também por uma contaminação microbiológica, associada à zona envolvente rural/agrícola, à falta de manutenção e/ou limpeza dos elementos de abastecimento e/ou elevado tempo de permanência da água na rede. A presença do ferro poderia resultar da interação do contacto da água com o material da tubagem e/ou cisterna, de fenómenos de corrosão, do mau estado de conservação dos elementos ou associado às intervenções na instalação. No caso da turvação, o seu incumprimento seria provocado pela presença de sólidos suspensos, nomeadamente do metal ferro e ainda podia resultar da interação do contacto da água com o material da tubagem e/ou cisterna.

Tal como no caso anterior, foi possível acompanhar a evolução da qualidade da água na instalação de Fanhões, e verificar-se que esta melhorou face ao ano anterior, no entanto continua a não ser própria para consumo devido à presença de substância indesejáveis, apresentando uma classificação do tipo 8 (Figura 5.19). Assim, a evolução da qualidade oscilatória ao longos dos anos, não é só provocada pela falta de desinfetante e presença de microrganismos, mas também pela concentração preocupante dos metais.

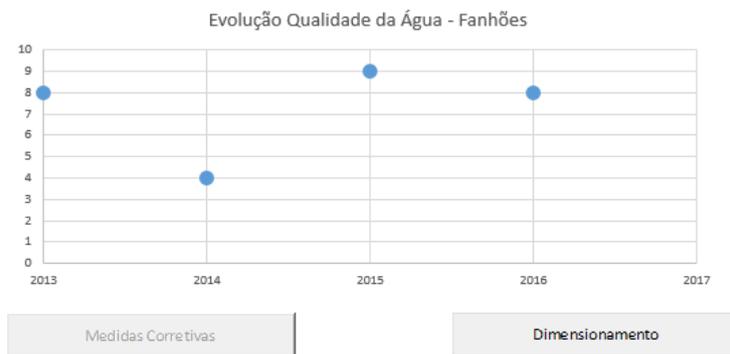


Fig.5.19 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Fanhões.

Realizado o diagnóstico, já se encontram definidos os critérios para se obter a solução do sistema de tratamento, os respetivos equipamentos e custos associados (Figura 5.20 e Figura 5.21).

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	BREVE DESCRIÇÃO
Pré-oxidação Desinfecção	Hipoclorito de Sódio	Bomba doseadora
		Controlador químico automático
		Sondas de pH e cloro residual livre
		Célula de fluxo
	Depósito de desinfetante	
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox
Filtração	Filtro fino	Fibra sintética

Fig.5.20 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Fanhões.

DIMENSIONAMENTO				
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO		DOCUMENTAÇÃO
				Manual de Instruções e Operação
Pré-oxidação e Desinfecção com hipoclorito de sódio	Bomba doseadora	Marca	EMEC	Ref. 1
		Modelo	VMS MF	
		Capacidade unitária da bomba doseadora	6	
		Pressão de serviço necessária (bar)	7	
	Controlador químico automático	Marca	B&C	Ref. 2
		Modelo	B&C CL 7685	
		Acessórios	Sondas de pH e cloro residual Célula de fluxo Módulo de comunicação remota	
	Depósito de desinfetante	Capacidade (L)	50	Ref. 3
		Altura (mm)	690	
		Diâmetro (mm)	360	
		Material	PEAD	
	Desinfetante químico	Referência	Cloro líquido UN 1791	Ref. 4
Concentração de cloro (%)		12		
Fator de diluição		1L de hipoclorito a 12 % para cada 10 L de água		
DIMENSIONAMENTO				
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO		DOCUMENTAÇÃO
				Manual de Instruções e Operação
Pré-filtração	Filtro grosso	Marca	3M	Ref. 6
		Comprimento (mm)	64 - 254	
		Meio filtrante	Aço Inox	
		Malha micron (um)	50 - 200	
	Suporte de cartucho	Marca	3M	
DIMENSIONAMENTO				
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO		DOCUMENTAÇÃO
				Manual de Instruções e Operação
Filtração	Filtro fino	Marca	3M	Ref. 6
		Comprimento (mm)	64 - 254	
		Meio filtrante	Fibra Sintética	
		Malha micron (um)	5 - 20	
	Suporte de cartucho	Marca	3M	
ANÁLISE DE CUSTOS				
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	ANÁLISE DE CUSTOS (Euros)		
Pré-oxidação e Desinfecção	Hipoclorito de Sódio	Bomba doseadora	500	
		Controlador químico automático	500	
		Sondas de pH e cloro residual livre	100	
		Célula de fluxo	80	
		Depósito de desinfetante	45	
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox	100	
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70	
Filtração	Filtro fino	Fibra sintética	30-40	
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70	

Fig.5.21 – Folha do Dimensionamento para a instalação de FANHÕES (continuação).

Durante a simulação da solução de tratamento, e como a instalação de Fanhões é caracterizada por um Controlo de Consumo Tipo 1, a ferramenta tem em consideração todos os incumprimentos registados durante os 6 meses de análise.

Como se pode verificar na Figura 5.20 a proposta de tratamento irá passar por um conjunto sequencial de processos de pré-oxidação, pré-filtração com filtro de aço inoxidável, filtração com filtro de fibra sintética, seguida por uma desinfeção com hipoclorito de sódio.

A pré-oxidação com aplicação de agente oxidante como hipoclorito de sódio, será uma etapa muito importante no tratamento de água para consumo, ao oxidar substâncias indesejáveis como o ferro na sua forma reduzida Fe (II), que será mais facilmente eliminada no processo de pré-filtração. A pré-filtração com recurso a filtro de aço inoxidável é muito comum no tratamento das águas subterrâneas e será adequado para a retenção de metais, e ainda na remoção de sólidos suspensos e turvação, seguida por filtração de fibra sintética para a remoção de microrganismos. Como resultado da pré-oxidação e pré-filtração, a aplicação dos filtros finos será operada de modo mais eficiente, prevenindo o seu desgaste prematuro.

Por fim, a etapa de desinfeção com hipoclorito de sódio desempenha um papel fundamental na redução do número de microrganismos, na manutenção de um teor de residual de desinfetante na água tratada e prevenção do reaparecimento de alguns organismos patogénicos no sistema de distribuição.

Relativamente aos equipamentos, e de modo a se assegurar a sustentabilidade das soluções de tratamento de pequena escala, foram selecionadas tecnologias com baixo custo de construção e manutenção, mas que garantissem simultaneamente a eficiência de tratamento adequado.

Assim, a bomba doseadora química de hipoclorito de sódio é a solução ideal para dosagens baixas de produto químico. A este sistema de desinfeção está associado um conjunto de equipamentos de controlo como o caso do controlador químico automático, que promove uma medição contínua de desinfetante e realiza ajustes de cloro residual, e respetivos acessórios de medição como o caso das sondas, e de suporte como a célula de fluxo e o depósito de desinfetante.

A grande vantagem é permitir a utilização do mesmo equipamento para realizar duas operações diferentes. Assim, a aplicação da oxidação química com hipoclorito de sódio permitirá a precipitação dos óxidos de ferro, que serão removidos na fase seguinte de filtração, e a utilização como última etapa de tratamento de água potável para a sua desinfeção.

A utilização de filtros por cartuchos representa uma vantagem por serem uma solução prática, vantajosa a nível económico e por serem aplicados a uma ampla variedade de meios filtrantes que podem ser do tipo descartável, como o caso dos filtros finos (5-20  $\mu\text{m}$ ) de fibra sintética, ou lavável como os filtros de pré-oxidação de aço inoxidável (50-200  $\mu\text{m}$ ).

Por fim, a ferramenta identifica a análise dos custos que é baseada nos equipamentos e acessórios apresentados.

## **5.6. ANÁLISE DE RESULTADOS**

Como foi referido anteriormente o âmbito do desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão, surge na sequência de se obter um meio funcional de utilização que permitirá o diagnóstico, o acompanhamento da qualidade da água e o estudo e projeto de sistemas de tratamento, para se garantir uma qualidade de água para consumo humano, dentro das instalações da REN.

### **5.6.1. ANÁLISE DO DESEMPENHO DA FERRAMENTA**

Através dos resultados obtidos na ferramenta e, da análise e enquadramento das instalações realizada no capítulo 4, foi possível proceder à validação da ferramenta de apoio à decisão.

Para os presentes casos de estudo verifica-se que a ferramenta apresenta um enorme potencial de aplicação, ao permitir o diagnóstico e o acompanhamento da qualidade da água, que servirá de auxílio para definição de soluções dos eventuais problemas verificados.

Relativamente aos resultados dos diagnósticos, a ferramenta é extremamente útil na identificação dos incumprimentos e causas associadas, e no acompanhamento da sua evolução da qualidade da água ao longo dos anos. Apesar das causas associadas aos incumprimentos serem genéricas, porque não se resumem a uma causa específica, para ambos os casos de estudo, apresentaram estar em concordância com a análise realizada no capítulo 4. Para além do mais, a compreensão das razões pelas quais ocorrem alterações da qualidade da água é muito importante, pois podem influenciar os níveis de tratamento exigidos e, por conseguinte, todo o processo de produção de água para consumo humano.

Embora, a classificação da qualidade da água necessite de ajustes e de uma análise mais aprofundada, considera-se que o apoio à representação gráfica demonstrou ser uma forma fácil e intuitiva do utilizador acompanhar a evolução da qualidade da água ao longo do período de 3 anos.

Destaca-se ainda que, a utilização da ferramenta permite ainda sistematizar todos os dados dos relatórios da qualidade da água nos dados de base de cada uma das instalações, permitindo a criação de um historial de qualidade das instalações.

A ferramenta desenvolvida viabiliza também a obtenção de proposta de tratamento, que constituirá uma boa referência ao estudo e definição de soluções de tratamento mais adequados às necessidades das instalações. O dimensionamento é assim, apoiado por um conjunto de equipamentos e tecnologias, especificados para instalações de pequenas dimensões, com necessidades de sistemas de tratamento de fácil manuseamento, controlo e operação. Para além do mais, apesar de só se ter em consideração os custos dos equipamentos, espera-se que, por traduzirem custos reais representem uma mais valia para futuras estimativas de investimento.

Para dar continuidade à ferramenta, e visto que o Dimensionamento é apenas aplicado uma vez às instalações, como alternativa foi realizada a folha de resultados das Medidas Corretivas. Por um lado, se a instalação alvo de estudo apresentar sistema de tratamento, os resultados do diagnóstico permitirão o auxílio na avaliação do desempenho dos sistemas de tratamento, e por outro, as medidas corretivas identificarão um conjunto de procedimentos de verificações e inspeções, para cada elemento do sistema de abastecimento e sistema de tratamento.

Toda a informação obtida poderá servir de base para ajudar na identificação e deteção dos pontos de controlo críticos do sistema, permitindo a correção de deficientes funcionamentos típicos dessas unidades, e ainda, para a criação de planos de sistematizados para a gestão da qualidade da água, através da elaboração de guias de rotina e de manutenção.

Assim, a ferramenta demonstra um enorme potencial, sendo a sua grande vantagem poder ser aplicada a qualquer caso de estudo que a REN queira fazer no futuro. Com esta ferramenta será possível saber como tem evoluído a qualidade da água em qualquer instalação e ter uma base de informação para definição de soluções para eventuais problemas. Para que além do mais, ela ainda apresenta a possibilidade de ser utilizada depois de serem instalados os sistemas de tratamento.

De sublinhar que a presente ferramenta serve apenas de apoio à decisão e nunca se deve descorar o estudo e análise dos casos reais, tendo em conta as particularidades e historial de cada uma das instalações. Existe sempre uma necessidade de aplicação prática, acompanhamento dos sistemas de tratamento e o melhoramento e afinação da ferramenta. Mesmo assim, a sua utilização demonstra potencial, devido à facilidade no uso, versatilidade, que servirá de base para aplicação das restantes instalações.

#### 5.6.2. DIFICULDADES E LIMITAÇÕES

A criação de uma ferramenta com tais níveis de complexidade e capacidade de análise, apresenta sem dúvida uma mais valia no estudo e aplicação de soluções no âmbito de tratamento de água. No entanto, dever-se-á admitir certas limitações que deverão ser consideradas no futuro.

Ao longo da análise que se tem vindo a efetuar sobre a aplicação da ferramenta, identificaram-se algumas carências a nível de informação na introdução de dados e dados de base, relativas às opções limitadas de equipamentos disponíveis. No entanto, tal situação poderá ser complementada à medida que se vão instalando os diferentes processos e operações de tratamento.

Durante o desenvolvimento dos dados de base das instalações, uma das dificuldades encontradas, foi o facto das instalações apresentarem controlos de consumo diferentes, o que poderia provocar incompatibilidades na obtenção do diagnóstico. Assim, e para antecipar possíveis alterações nos planos de monitorização, as tabelas com os dados das análises já se encontram adaptadas a estas situações, permitindo, à ferramenta guardar e simular os resultados sem impor dificuldades e eventuais erros.

Por outro lado, toda a análise e propostas de tratamento podem ser postas em causa por falta de dados disponíveis na folha do relatório das análises, dependendo assim, dos dados preenchidos pelo utilizador e dos planos de monitorização estabelecidos para as instalações.

Devido a limitações informativas e temporais, certos dados não foram considerados nos dados de base, o que pode gerar resultados genéricos e com necessidade de consolidação. Um exemplo é acrescentar nas relações condicionais dos incumprimentos-causas, as informações relativas às datas e ao material da tubagem. Deste modo, seria possível prever se certos incumprimentos que levam à deterioração da qualidade da água, resultavam realmente de fenómenos de corrosão ou da formação de depósitos e incrustações nas tubagens. Estes tipos de dados seriam importantes para complementar os dados de base das soluções de tratamento, pois em alguns casos, a reposição da qualidade da água poderá passar pela alteração e/ou manutenção das tubagens e dos restantes elementos do sistema de abastecimento.

Uma vez que houve necessidade de se determinar o tipo de utilização que a água da instalação poderia ter, a classificação da qualidade da água definida, teve por base os incumprimentos verificados, mas também a complexidade dos tratamentos necessários. Por outro lado, a classificação da qualidade da água deverá sofrer ajustes e ser alvo de estudos contemplares sempre que sejam justificados.

Durante o dimensionamento a ferramenta tem por base os incumprimentos verificados no ano de análise, não tem em consideração o historial de anos anteriores. Assim, a ferramenta serve apenas de apoio, mas nunca se deve descorar de visitas ao local e da realização de novas análises.

Na análise dos incumprimentos-tratamentos, alguns parâmetros não foram considerados, por não serem comuns na água subterrânea ou por representarem investimentos de tratamentos inviáveis. Mesmo assim, criaram-se tratamentos de referência para a maioria das situações, e caso o utilizador entender poderá sempre inserir e alterar os dados que considere oportuno e importantes para a solução a estudar.

Relativamente à proposta de solução, uma deficiência da ferramenta é não ter em consideração as concentrações dos incumprimentos, nem a influência da presença de outros parâmetros, como por exemplo o pH, que se apresentar um valor alto pode comprometer a sugestão da desinfeção com hipoclorito de sódio.

Como foi referido anteriormente durante análise de custos apenas foram considerados os custos inerentes aos equipamentos e acessórios. Por outro lado, o utilizador poderá também inserir outros custos que considere importantes, como o investimento de toda a rede hidráulica de abastecimento, como tubagens e acessórios, equipamentos de bombagens, os próprios custos de construção, custos de tratamento, custos de manutenção, entre outros.

Vários são os fatores determinantes na seleção do processo de tratamento, mas o principal será a qualidade da água bruta. Assim, deveria ser considerada a água bruta a tratar, uma vez que a qualidade da mesma pode sofrer influência de deterioração durante a sua distribuição no sistema de abastecimento.

Para o dimensionamento, para além das características dos equipamentos sugeridos, deverá se ter em consideração a capacidade de bombagem e o caudal de água captado, a capacidade da cisterna e a disponibilidade de espaço de instalação, de modo a se obter um sistema de tratamento bem dimensionado e que represente as necessidades de utilização.

Por fim, não se deverá ter por base apenas as análises a nível anual pois podem ocorrer outras anomalias e não serem registadas e verificadas durante os meses em análise. Assim, sugestão de monitorização contínua através de instrumentos de medição, em tempo real, representam um bom meio para prever situações de incumprimentos e falhas nos sistemas de tratamento.

# 6

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho incidiu na análise da qualidade da água para consumo humano em subestações da REN, que dependem de captações subterrâneas para garantir o acesso e o abastecimento de água. Assim, pretende-se assegurar uma qualidade da água para consumo por parte dos seus colaboradores, de modo a disporem das melhores condições de saúde, higiene e segurança.

Face à necessidade de se fazer cumprir os requisitos impostos à qualidade da água destinada ao consumo humano, o objetivo da dissertação passou pelo estudo e análise de sistemas de tratamento adequados às carências das instalações.

A compreensão das razões pelas quais ocorrem alterações da qualidade da água é muito importante, pois podem influenciar os níveis de tratamento exigidos e, por conseguinte, todo o processo de produção de água para consumo humano. Assim, foi desenvolvida uma metodologia de trabalho, que passou pela recolha e organização de inventário e informações, para promover o estudo e caracterizar a envolvente das instalações, e pela identificação de potenciais fontes de contaminação da captação, para avaliar a segurança do abastecimento e tentar compreender a ocorrência de incumprimentos na qualidade da água.

Numa segunda fase foram diagnosticados e estudadas propostas de solução para os sistemas de tratamento de Vila Pouca de Aguiar e Valdigem. Embora estas instalações apresentassem sistema de tratamento, verificou-se que não eram cumpridos os requisitos estabelecidos pela legislação para o desinfetante residual e para os parâmetros microbiológicos.

Assim, através de visitas aos locais, conclui-se que havia falhas técnicas de posicionamento e mau funcionamento de alguns elementos do sistema de tratamento, mas que a questão chave era a falta de meios e recursos compatíveis para a manutenção. Desta forma, a proposta apresentada passou pela implementação de instrumentos de medição automáticos e pela criação de medidas de controlo e inspeção.

Um dos maiores contributos do presente estudo, para além da análise da qualidade da água e do enquadramento das instalações, foi o desenvolvimento da ferramenta de apoio à decisão, que permitirá à REN diagnosticar e acompanhar a evolução da qualidade da água, dentro das suas instalações.

A sua validação realizou-se através de cinco casos de estudo e as conclusões retiradas da análise efetuada demonstram que uma das principais vantagens não só é a identificação de soluções mais

adequadas ao sistema de tratamento de água, como poder-se perpetuar no tempo, na medida em que será possível introduzir procedimentos de controlo para avaliar o desempenho dos sistemas de tratamento ao longo dos anos. De futuro, à medida que mais dados e estudos forem disponibilizados, o registo poderá ser completado e a ferramenta melhorada.

Pode-se concluir que esta ferramenta é realmente muito útil para a aplicação e gestão às várias instalações, ao permitir identificar e antecipar soluções de tratamento julgadas mais favoráveis à correção da qualidade da água, e ainda por servir de apoio à criação de guias de rotina e de manutenção.

Como em tudo, a questão económica prevalece na generalidade dos casos, pelo que se considera que mais estudos deverão ser feitos relativo à aplicação de sistemas de tratamento nas instalações e que a ligação à rede pública de abastecimento não deve ser posta de lado. Esta solução mesmo representando investimentos iniciais maiores (ligação a remais, instalações de bombas, entre outros), a longo prazo pode traduzir-se na melhor opção. Tal facto poderá ser justificado uma vez que, todo o sistema de tratamento está associado a custos de equipamentos, instalação e ainda manutenção, deslocações e mão-de-obra que seriam evitados se tal solução fosse instaurada.

## **6.2. RECOMENDAÇÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

De modo a se promover a melhoria do desempenho da ferramenta de apoio à decisão e facilitar a sua aplicação às restantes instalações da REN, o levantamento recorrente e atualizado de informação é extremamente importante, uma vez que permitirá avaliar de forma incisiva e pormenorizada as necessidades de cada uma dessas instalações, definindo e possibilitando a obtenção de soluções integradas de tratamento.

Uma vez que, as captações subterrâneas são a única fonte disponível para suprir as necessidades de água nas instalações, como trabalho futuro, sugere-se a realização de estudos do sistema aquífero e da disponibilidade hídrica, por forma a garantir-se uma correta utilização e proteção deste recurso.

O estudo hidrogeológico de uma região, através do apoio a modelos matemáticos, é um mecanismo muito importante no reconhecimento do sistema aquífero, face ao seu grau de vulnerabilidade e a potenciais focos de contaminação que possam afetar a qualidade da água, apresentando uma mais valia a sua utilização.

Outro fator que exerce influência sobre os recursos hídricos subterrâneos é a monitorização do nível piezométrico do aquífero e o acompanhamento da disponibilidade hídrica, atendendo às características climáticas e de pluviosidade das regiões, identificando-se assim, potenciais situações de seca ou cheias. Assim, através da informação relativa ao caudal de água nas captações e previsão dos efeitos da gestão da recarga dos aquíferos, em diferentes cenários de precipitação, será possível evitar situações de sobre-exploração das captações.

A ferramenta de apoio à decisão desenvolvida, e com vista à sua utilização futura, será também passível de melhorias contínuas, de acordo com as necessidades dos utilizadores. Algumas propostas a considerar num futuro próximo serão a inclusão de mais tecnologias e equipamentos de tratamento e na análise económica a integração dos custos associados à instalação, manutenção e exploração dos sistemas de tratamento. Poderá ser também equacionada a hipótese de se ter em consideração durante o dimensionamento, a capacidade da cisterna, para que os resultados forneçam soluções de tratamento mais adequados às necessidades e dimensões das instalações.

Devido à ocorrência de intercalações variáveis e pouco permanentes da utilização da água, dentro das instalações, e de forma a se obter informação de apoio ao estudo, planeamento e gestão dos sistemas de tratamento, a estimativa do consumo médio dentro das instalações representa um fator fundamental. Para que tal situação se verifique conclui-se que, será necessário a compilação de informações relativas à descrição genérica das instalações (informações sobre os edifícios, como dimensões das instalações, entre outros), descrição das condições de funcionamento das instalações (horários de funcionamento, número total de funcionários, frequência de utilização de água por utilizador, rotinas de limpezas das instalações, entre outros) e características da rede de distribuição (plantas com implantação das tubagens, dimensões e materiais das tubagens, localização dos contadores, localização, número e tipo de dispositivos de uso da água e características dos equipamentos e dispositivos).

A garantia da qualidade da água para abastecimento destinada a consumo humano encontra-se intimamente relacionada com o estado e proteção da respetiva fonte de água bruta. Assim, a captação de água também deverá ser alvo de inspeção, no sentido de se verificar o estado de conservação da estrutura interna e a proteção do perímetro para evitar a existência de fatores externos de contaminação. O acompanhamento da qualidade da água bruta deverá ser avaliado, de modo a se identificar a natureza de possíveis incumprimentos paramétricos e se determinar as necessidades dos sistemas de tratamento. Deste modo, será possível rastrear se a causa do incumprimento tem origem natural, da formação rochosa, ou de contaminações posteriores na rede de distribuição.

Por outro lado, o desempenho sustentável dos sistemas de tratamento, pode ser comprometido durante a distribuição da água no sistema de abastecimento. Será, portanto, uma prioridade o conhecimento do estado de conservação da rede de distribuição e reservatórios de armazenamento de água, assim como, da utilização de materiais adequados para estarem em contacto com a água.

Outro ponto fundamental deverá passar pela atualização dos planos de monitorização, para que se estabeleça controlos compatíveis com tipo de utilização, visto que se pretende que a água nas instalações se destine ao consumo humano.

Em última análise, visto que parte das subestações não apresentam colaboradores em permanência, deverão ser estabelecidas visitas ao local para se proceder a ações de inspeção e de manutenção. O mesmo pode ser garantido com o apoio e formação dos operadores e através da elaboração e implementação de planos de monitorização e manutenção, com recurso a guias de rotina, que contenham listas de medidas de controlo e medidas corretivas.



## BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J. A. P., Sanz, J. M., De Bustamante, I. (2013). Modelos y bases de datos geoespaciales para la evaluación e inventario de los recursos hídricos. ISBN: 978-84-695-8162-9.
- Alexandre, C., Gonçalves, P., Lopes, J. L., Simas, L. (2005). *Guia Técnico nº 6 - Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: 972-99354-6-7.
- Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água, Centro de Geologia.
- Almeida, M. C., Vieira, P., Ribeiro, R. (2006). *Guia Técnico nº 8 - Uso Eficiente da Água no Sector Urbano*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: 972-99354-9-1.
- Alves, C. (2010). Tratamento de águas de abastecimento. 3ª Edição. Publindústria. ISBN: 978-972-89534-6-1.
- AVK. (s.d.). AVK Válvulas, Disponível em: [http://www.avkvalvulas.com/index.php?option=com\\_frontpage&Itemid=72](http://www.avkvalvulas.com/index.php?option=com_frontpage&Itemid=72) (último acesso em junho de 2017).
- AWWA. (1999). Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. American Water Works Association. Universidade de Michigan. McGraw-Hill Handbooks, 1999. ISBN: 978-007-00165-9-0.
- Barbosa, A. E., Ferreira-Lobo, J. P., Oliveira, M. M., Leitão, T. E., Rocha, J. S. (2009). *Guia Técnico nº 11 – Proteção das Origens Superficiais e Subterrâneas nos Sistemas de Abastecimento de Água*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: 978-989-95392-6-6.
- Brito, A., Oliveira, J., Peixoto, J. (2010). Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial: Elementos Teórico-práticos. Porto: Grupo Publindústria, 2010. ISBN: 978-989-20-1923-9.
- B&C. (s.d.). B&C Electronics, Itália. Disponível em: <http://www.bc-electronics.it/por/home.php> (último acesso em junho de 2017).
- Casimiro, R., Lopes, J. L., Mendes, R., Rodrigues, C., Saúde, M. (2007). *Guia Técnico nº 10 - Controlo Operacional em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: 978-989-95392-2-8.
- CE. (2008). *Protecção das águas subterrâneas na Europa*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 35pp. ISBN: 978-92-79-09825-3.
- Chambel, A. (2012). Hidrologia Agrícola: Capítulo 6 - Águas Subterrâneas e Agricultura. Centro de Geofísica de Évora. Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora.
- Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2<sup>nd</sup> Edition, World Health Organization, United Nations

- Environment Programme, p. 609. ISBN: 0-419-21600-6.
- Cheng, C. Y. (2014a). *Adsorção*. Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas (I). Curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cheng, C. Y. (2014b). *Desinfecção Física por Radiação Ultravioleta*. Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas (I). Curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cheng, C. Y. (2014c). *Filtração*. Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas (I). Curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cheng, C. Y. (2014d). *Oxidação Química e Desinfecção*. Tecnologias e Sistemas de Tratamento de Águas (I). Curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cheng, C. Y. (2014e). *Utilização de Bombas em ETA e ETAR*. Mecânica dos Fluidos (II). Curso de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- DANFOSS. (s.d.). Danfoss, Espanha. Disponível em: <http://www.danfoss.pt/home/> (último acesso em junho de 2017).
- Decreto-Lei n.º 23/95 de 23 de agosto. (1995). Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, Diário da República Série-B no 194.
- Decreto-Lei n.º 226-A/2007 de 31 de maio. (2007). Agência Portuguesa do Ambiente, Diário da República, 1.ª Série – N.º 105.
- Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto. (2007). Agência Portuguesa do Ambiente, Diário da República, 1.ª Série – N.º 164.
- Decreto-Lei n.º 382/99, de 22 de setembro. (1999). Agência Portuguesa do Ambiente, Diário da República, N.º 222.
- Decreto-Lei n.º 208/2008 de 28 de outubro. (2008). Agência Portuguesa do Ambiente, Diário da República, 1.ª Série – N.º 209.
- DGADR. (2016). Diretiva Nitratos. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Disponível em: <http://www.dgadr.pt/rec-hid/diretiva-nitratos> (último acesso em junho de 2017).
- DOSAPRO. (s.d.). Dosapro & Milton Roy, França. Disponível em: <http://www.miltonroy-europe.com> (último acesso em junho de 2017).
- EBROARMATUREN. (s.d.). EBRO ARMATUREN, Alemanha. Disponível em: <http://www.ebro-armaturen.com> (último acesso em junho de 2017).
- EDP. (2009). *A rede: Subestação Virtual*. EDP Distribuição. Disponível em: <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/rede/Pages/subestacao.aspx> (último acesso em maio de 2017).
- EH. (s.d.). Endress+Hauser, Portugal. Disponível em: <https://www.pt.endress.com/pt> (último acesso em junho de 2017).
- EMEC. (s.d.). EMEC, Itália. Disponível em: <http://www.emecpumps.com/it/> (último acesso em junho de 2017).
- EPAL. (2011). Manual de Redes Prediais da EPAL, 4ª versão. Empresa Portuguesa das Águas Livres. Disponível em: <http://www.epal.pt/epal> (último acesso em junho de 2017).
- ERSAR. (2007). *Recomendação IRAR n.º 05/2007: Desinfecção da água destinada ao consumo humano*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos / Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Publicações: IRAR/ERSAR. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/recomendacoes> (último acesso em junho de 2017).

- ERSAR. (2010). *Recomendações ERSAR n.º 03/2010: Procedimento para a colheita de amostras de água para consumo humano em sistemas de abastecimento*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Publicações: ERSAR. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/recomendacoes> (último acesso em junho de 2017).
- ERSAR. (2016). *Controlo da Qualidade da Água*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/controlo-da-qualidade-da-agua> (último acesso em maio de 2017).
- Fernandes, A. C., Guerra, M. D., Ribeiro, R., Rodrigues, S. (2016). *Relatório do Estado do Ambiente 2016*. Agência Portuguesa do Ambiente. Publicações APA.
- Ferreira, V. J. (2017). *As águas subterrâneas na Região Norte: uma visão institucional*. Agência Portuguesa do Ambiente. Administração da Região Hidrográfica do Norte.
- Figueiredo, V. (2012). *Software de Gestão de Estações de Tratamento de Águas Residuais*. Dissertação de Mestrado em Sistemas e Tecnologias de Informação para as Organizações. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu.
- Fiuza, A. (2009). *Reabilitação de solos e aquíferos contaminados*. Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente e Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- FLUIDAC. (s.d.). Fluidac, China. Disponível em: <http://www.air-matics.com> (último acesso em junho de 2017).
- Follin, S., Harley, L., Jackson, P., Roberts, D. (2008). *Hydrogeological conceptual model development and numerical modelling using CONNECTFLOW, Forsmark modelling stage 2.3*. Swedish Nuclear Fuel and Waste Management, GeoLogic AB. ISSN: 1402-3091.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., Paris, M. (2002). *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies*. The International Bank for Reconstruction and Development.
- Fulton, J. W., Koerkle, E. H., McAuley, S. D., Hoffman, S. A., Zarr, L. F. (2005). *Hydrogeologic setting and conceptual hydrologic model of the Spring Creek basin, Centre County, Pennsylvania, June 2005*. US Geological Survey, Scientific Investigations Report 2005-5091, 83p.
- GRUNDFOS. (s.d.). Grundfos, Dinamarca. Disponível em: <http://www.grundfos.com> (último acesso em junho de 2017).
- Harter, T. (2003). *Groundwater quality and groundwater pollution*. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. UCANR Publication 8084, 11.2.
- HIDRAULICART. (2015). *Autoclaves e Pressostatos – Automatizar Sistemas de Água*. Disponível em: <http://www.hidraulicart.pt/autoclaves/> (último acesso em junho de 2017).
- Hiscock, K. M., Bense, V. F. (2014). *Hydrogeology: principles and practice*, 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-65663-1.
- LNEG. (2010a). *geoPortal: O geoPortal do LNEG*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Disponível em: <http://geoportal.lneg.pt/index.php?state=geoportal&lg=pt> (último acesso em maio de 2017).
- LNEG. (2010b). *geoPortal: Cartografia disponível no geoPortal do LNEG*. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Disponível em: [http://geoportal.lneg.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=75](http://geoportal.lneg.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=75) (último acesso em maio de 2017).
- Lobo-Ferreira, J. P. (1995). *Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: Fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lopes, A.R. (2017). *Estado das Massas de água subterrânea nos Planos de Gestão de Região*

- Hidrográfica de 2ª geração*. Agência Portuguesa do Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos - Divisão do Estado Qualitativo da Água.
- Meneia, J., Vieira, P., Rosa, M. J. (2009). *Guia Técnico nº 13 – O Tratamento de Água para Consumo Humano face à Qualidade da Água de Origem*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: 978-989-95392-7-3.
- Morais, C., Vieira, J. M. P. (2005). *Guia Técnico nº 7 - Planos de Segurança em Sistemas Públicos de Abastecimento de Água para Consumo Humano*. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto da Água, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Publicações IRAR/ERSAR. ISBN: -.
- NJAC. (2010). *Ground Water Quality Standards New Jersey*. N.J.A.C. 7:9C.
- OZONIA. (2012). Ozonia, Suíça. Disponível em: <http://www.ozonia.com/index.php> (último acesso junho 2017).
- PEPFILTERS. (2004). PEP Filters, USA. Disponível em: <http://www.pepfilters.com> (último acesso junho 2017).
- Portaria n.º 1115/2009 de 29 de setembro. (2009). Agência Portuguesa do Ambiente, Diário da República, 1.ª Série – N.º 189.
- Porto Editora. (2013). *Artigo: A água - Serviços Educativos da Fundação de Serralves*. ME: *Magazine de Educação do Espaço Professor, Edição n.º14, maio de 2013*. Porto Editora. Disponível em: [https://www.portoeditora.pt/espacoprofessor/paginas-especiais/magazine-educacao-tema-capa-2/magazine-educacao-artigos/magazine-14/me14-a-agua/?utm\\_source=eNL\\_me14&utm\\_medium=pdf&utm\\_content=agua&utm\\_campaign=Magazine+Educacao](https://www.portoeditora.pt/espacoprofessor/paginas-especiais/magazine-educacao-tema-capa-2/magazine-educacao-artigos/magazine-14/me14-a-agua/?utm_source=eNL_me14&utm_medium=pdf&utm_content=agua&utm_campaign=Magazine+Educacao) (último acesso em junho de 2017).
- REN. (2009). *Declaração Política da Qualidade, Ambiente e Segurança*. Rede Energética Nacional.
- REN. (2012). *ELEX-AG: Políticas e Estratégicas de Manutenção - Versão 3*. Rede Energética Nacional.
- REN. (2013a). *Portal Sustentabilidade: Relatórios de análise - Variáveis de preenchimento (quantitativas)*. Rede Energética Nacional.
- REN. (2013b). N-0014: *Controlo da Qualidade da Água e Efluentes Líquidos em Instalações da REN - 1ª Edição*. Rede Energética Nacional.
- REN. (2015). *Relatório & Contas 2015*. Rede Energética Nacional.
- REN. (2017a). *Quem somos: Perfil da empresa*. Disponível em: [https://www.ren.pt/pt-PT/quem\\_somos/perfil\\_da\\_empresa/](https://www.ren.pt/pt-PT/quem_somos/perfil_da_empresa/) (último acesso em maio de 2017).
- REN. (2017b). *Sustentabilidade: Ambiente*. Disponível em: <https://www.ren.pt/pt-PT/sustentabilidade/ambiente/> (último acesso em maio de 2017).
- RESOPRE. (s.d.) Resopre, Portugal. Disponível em: <http://resopre.pt/index.php> (último acesso junho 2017).
- Ribeiro, L., Cunha, L. V. (2010). *Portuguese groundwater report–EASAC WG on the role of groundwater in the water resources policy of southern EU member states*. EASAC policy report, 12.
- Santos, C. (2012). *Otimização Ambiental do Uso de Água em Edifícios*. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- SHIVSU. (s.d.). Shivsu Canadian Clear, Canadá. Disponível em: <http://www.shivsu.com> (último acesso junho 2017).
- SIEMENS. (2017). Siemens, Portugal. Disponível em: <https://www.siemens.com/global/en/home.html> (último acesso junho 2017).

- Silva, M., Dias, A. G. (2016). *Desenvolvimento de uma checklist para avaliação de perímetros de proteção em águas subterrâneas*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- SNIRH. (1995-2017). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.4> (último acesso em junho de 2017).
- TROJANUV. (2017). TrojanUV. Trojan Technologies, Canada. Disponível em: <http://www.trojanuv.com> (último acesso junho 2017).
- VIQUA. (2017). VIQUA, Dinamarca. Disponível em: <https://viqua.com> (último acesso junho 2017).
- WHO. (2006). Protecting groundwater for health: managing the quality of drinking-water sources. World Health Organization. ISBN: 978-18-4-339079-4.
- WHO. (2011). Guidelines for drinking-water quality: 4<sup>th</sup> Edition. World Health Organization. ISBN: 978-92-4-154815-1.
- Zeferino, J. F. C. (2016). Modelação numérica (FEFLOW) e contaminação por intrusão salina do sistema aquífero Mio-Pliocénico do Tejo, na frente ribeirinha do Barreiro. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL.
- 3M. (2017). 3M, Portugal. Disponível em: [http://www.3m.com.pt/3M/pt\\_PT/empresa-pt/](http://www.3m.com.pt/3M/pt_PT/empresa-pt/) (último acesso junho 2017).





## **ANEXOS**

**ANEXO A** – Consumos médios mensais nas instalações

**ANEXO B** – Planos de monitorização das instalações

**ANEXO C** – Aplicação da ferramenta aos restantes casos de estudo



## ANEXO A – Consumos médios mensais nas instalações

Tabela A.1 – Consumos mensais globais na subestação de Vila Pouca de Aguiar.

Consumos mensais globais (m <sup>3</sup> /mês)			
Mês / Ano	2014	2015	2016
Janeiro	2,00	1,00	0,01
Fevereiro	1,00	0,00	1,09
Março	2,00	0,00	0,90
Abril	1,00	0,00	2,00
Maiο	0,00	0,00	0,00
Junho	1,00	7,00	1,00
Julho	1,00	20,00	1,00
Agosto	1,00	6,00	0,00
Setembro	0,00	3,00	0,00
Outubro	1,00	4,00	0,00
Novembro	1,00	1,00	0,00
Dezembro	0,00	4,00	0,00
TOTAL	11,00	46,00	6,00

Tabela A.2 – Consumos mensais globais na subestação de Valdigem.

Consumos mensais globais (m <sup>3</sup> /mês)			
Mês / Ano	2014	2015	2016
Janeiro	3,02	2,85	0,00
Fevereiro	4,36	1,85	6,68
Março	11,39	1,28	8,13
Abril	7,33	2,78	3,74
Maiο	3,68	2,78	2,17
Junho	2,00	3,58	6,88
Julho	7,73	3,57	8,24
Agosto	8,27	0,00	0,45
Setembro	3,73	0,00	15,57
Outubro	1,96	0,00	7,20
Novembro	3,36	0,00	2,19
Dezembro	1,00	0,00	2,70
TOTAL	57,83	18,69	63,95

Tabela A.3 – Consumos mensais globais na subestação de Fanhões.

<b>Consumos mensais globais (m<sup>3</sup>/mês)</b>			
<b>Mês / Ano</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	31,00	2,00	0,00
Fevereiro	5,00	10,00	0,00
Março	3,00	13,00	0,00
Abril	1,00	29,00	0,00
Maio	26,00	20,00	0,00
Junho	24,00	16,00	0,00
Julho	15,00	12,00	0,00
Agosto	36,00	10,00	7,00
Setembro	4,00	0,00	0,00
Outubro	27,00	0,00	0,00
Novembro	3,00	0,00	0,00
Dezembro	1,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>176,00</b>	<b>112,00</b>	<b>7,00</b>

Tabela A.4 – Consumos mensais globais na subestação de Palmela.

<b>Consumos mensais globais (m<sup>3</sup>/mês)</b>			
<b>Mês / Ano</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	17,00	22,00	43,00
Fevereiro	23,00	35,00	88,00
Março	31,00	64,00	57,00
Abril	44,00	71,00	70,00
Maio	40,00	76,00	126,00
Junho	60,00	2,00	92,00
Julho	55,00	174,00	88,00
Agosto	38,00	106,00	117,00
Setembro	43,00	62,00	56,00
Outubro	30,00	34,00	91,00
Novembro	26,00	34,00	87,00
Dezembro	17,00	43,00	10,00
<b>TOTAL</b>	<b>424,00</b>	<b>723,00</b>	<b>925,00</b>

Tabela A.5 – Consumos mensais globais na subestação de Pedralva.

<b>Consumos mensais globais (m<sup>3</sup>/mês)</b>			
<b>Mês / Ano</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	0,25	3,22	0,00
Fevereiro	0,01	0,00	0,00
Março	0,77	2,79	9,67
Abril	3,87	2,71	5,53
Maio	3,03	5,40	28,24
Junho	7,88	13,73	3,01
Julho	19,87	0,27	0,76
Agosto	5,34	5,13	1,33
Setembro	1,74	2,56	3,74
Outubro	3,59	2,56	2,01
Novembro	7,16	0,99	12,30
Dezembro	0,85	0,39	0,15
<b>TOTAL</b>	<b>54,36</b>	<b>39,75</b>	<b>66,74</b>



## ANEXO B – Planos de monitorização das instalações

Tabela B.1 – Controlo de Consumo Tipo 1.

Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periodicidade
Escherichia coli (E.Coli)	0	N.º/100 ml	Bimestral
Coliformes totais	0	N.º/100 ml	
Desinfectante residual	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>	
Controlo de Rotina 2	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periodicidade
Alumínio	200	µg/l Al	Semestral
Amónio	0,4	mg/l NH <sub>4</sub>	
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C	
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C	
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C	
<i>Clostridium perfringens</i>	0	N.º/100 ml	
Cor	20	mg/l PtCo	
pH	6,5-9,0	unidades de pH	
Ferro	200	µg/l Fe	
Manganês	50	µg/l Mn	
Nitratos	50	mg/l NO <sub>3</sub>	
Nitritos	0,5	mg/l NO <sub>2</sub>	
Oxidabilidade	5	mg/l O <sub>2</sub>	
Cheiro	3	Factor de diluição	
Sabor	3	Factor de diluição	
Turvação	4	UNT	
Controlo de Inspeção	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periodicidade
Antimónio	5	µg/l Sb	Anual
Arsénio	10	µg/l As	
Benzeno	1	µg/l	
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l	
Boro	1	mg/l B	
Bromatos	10	µg/l BrO <sub>3</sub>	
Cádmio	5	µg/l Cd	
Cálcio	<100	mg/l Ca	
Chumbo	25	µg/l Pb	
Cianetos	50	µg/l CN	
Cobre	2	µg/l Cu	
Crómio	50	µg/l CN	
1,2-dicloroetano	3	µg/l	
Dureza total	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>	
Enterococos	0	N.º/100 ml	
Fluoretos	1,5	mg/l F	
Magnésio	<50	mg/l Mg	
Mercúrio	1	µg/l Hg	
Níquel	20	µg/l Ni	
HAP	0,1	µg/l	
Benzo(b)fluoranteno			
Benzo(k)fluoranteno			
Benzo(ghi)perileno			
Indeno(1,2,3-cd)pireno			
Pesticidas individuais	0,1	µg/l	
Pesticidas (total)	0,5	µg/l	
Selénio	10	µg/l Se	
Cloreto	250	mg/l Cl	
Tetracloroetano e tricloroetano	10	µg/l	
Trihalometanos	100	µg/l	
Sódio	200	mg/l Na	
Carbono orgânico total		mg/l C	
Sulfatos	250	mg/l SO <sub>4</sub>	
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l	
Epicloridrina	0,1	µg/l	
Acrilamida	0,1	µg/l	

Tabela B.2 – Controlo de Consumo Tipo 2.

Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Escherichia coli (E.Coli)	0	N.º/100 ml	Anual
Coliformes totais	0	N.º/100 ml	
Desinfetante residual	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>	
Controlo de Rotina 2	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Alumínio	200	µg/l Al	Anual
Amónio	0,4	mg/l NH <sub>4</sub>	
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C	
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C	
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C	
<i>Clostridium perfringens</i>	0	N.º/100 ml	
Cor	20	mg/l PtCo	
pH	6,5-9,0	unidades de pH	
Ferro	200	µg/l Fe	
Manganês	50	µg/l Mn	
Nitratos	50	mg/l NO <sub>3</sub>	
Nitritos	0,5	mg/l NO <sub>2</sub>	
Oxidabilidade	5	mg/l O <sub>2</sub>	
Cheiro	3	Factor de diluição	
Sabor	3	Factor de diluição	
Turvação	4	UNT	
Controlo de Inspeção	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Chumbo	25	µg/l Pb	Anual
Dureza total	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>	
Enterococos	0	N.º/100 ml	
Fluoretos	1,5	mg/l F	
Magnésio	<50	mg/l Mg	
Mercúrio	1	µg/l Hg	
Pesticidas individuais	0,1	µg/l	
Pesticidas (total)	0,5	µg/l	
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l	

Tabela B.3 – Controlo de Consumo Tipo 4.

Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Escherichia coli (E.Coli)	0	N.º/100 ml	Anual
Coliformes totais	0	N.º/100 ml	
Desinfetante residual	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>	
Controlo de Rotina 2	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C	Anual
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C	
pH	6,5-9,0	unidades de pH	
Ferro	200	µg/l Fe	
Manganês	50	µg/l Mn	
Turvação	4	UNT	
Controlo de Inspeção	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periocidade
Chumbo	25	µg/l Pb	Anual
Dureza total	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>	
Magnésio	<50	mg/l Mg	
Níquel	20	µg/l Ni	

Tabela B.4 – Controlo Despistagem.

Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periódidade
Escherichia coli (E.Coli)	0	N.º/100 ml	Anual
Coliformes totais	0	N.º/100 ml	
Desinfectante residual	0,2-0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>	
Controlo de Rotina 2	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periódidade
Alumínio	200	µg/l Al	Anual
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C	
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C	
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C	
pH	6,5-9,0	unidades de pH	
Controlo de Inspeção	Valor Paramétrico (DL 306/2007)	Unidades	Periódidade
Chumbo	25	µg/l Pb	Anual
Dureza total	150-500	mg/l CaCO <sub>3</sub>	
Enterococos	0	N.º/100 ml	
Fluoretos	1,5	mg/l F	
Magnésio	<50	mg/l Mg	
Mercúrio	1	µg/l Hg	
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l	



## ANEXO C – Aplicação da ferramenta aos restantes casos de estudo

- Vila Pouca de Aguiar

The screenshot shows the 'FerramentaREN - Excel' interface with the following data entry fields:

- 1. Identificação da instalação:** Vila Pouca de Aguiar
- 2. Utilização da água:**
  - Obras na instalação
- 3. Tipo de abastecimento de água:** Cisterna
- 4. Sistema de Tratamento:** Sim
  - 4.1. Desinfeção:**
    - Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio
    - Sistema de Desinfeção com ozono
    - Sistema de Desinfeção com radiação UV
  - 4.2. Filtração:**
    - Filtro fino
    - Filtro de pré-filtração
    - Filtro de adsorção
  - 4.3. Elementos de Suporte:**
    - Reservatório de água tratada
    - 4.3.1. Manutenção:** Não
    - Sistema de recirculação
- 5. Controlo da qualidade da água:**
  - 5.1. Data de Controlo:** Dezembro
  - 5.2. Tipo de Controlo:** Controlo Consumo Tipo 1

At the bottom of the form, there is a button labeled 'RELATÓRIO DE ANÁLISES'.

Fig.C.1 – Folha de introdução de dados para a instalação de Vila Pouca de Aguiar.

Controlo Consumo Tipo 1			Vila Pouca de Aguiar (2016)						DIAGNÓSTICO E CONTROLO
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml	0	0	0	0	0	0	0
Desinfetante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2	0,1	1,1	0,9	0,2	0,1	0,1	
Controlo de Rotina 2									
Alumínio	200	µg/l Al		30			30		
Amónio	0,5	mg/l NH4		0,02			0,02		
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C		0			0		
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C		0			0		
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C		111			101		
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml		0			0		
Cor	20	mg/l PtCo		2			2		
pH	6,5-9,0	unidades de pH		6,8			6,8		
Ferro	200	µg/l Fe		50			50		
Manganês	50	µg/l Mn		15			15		
Nitratos	50	mg/l NO3		10			10		
Nitritos	0,5	mg/l NO2		0,02			0,02		
Oxidabilidade	5	mg/l O2		1,1			1,1		
Cheiro	3	Factor de diluição		1			1		
Sabor	3	Factor de diluição		1			1		
Turvação	4	UNT		0,5			0,5		
Controlo de Inspeção									
Antimónio	5	µg/l Sb					3,5		
Arsénio	10	µg/l As					6		
Benzeno	1	µg/l					0,26		
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l					0,005		
Boro	1	mg/l B					0,3		
Bromatos	10	µg/l BrO3					5,6		
Cádmio	5	µg/l Cd					1		
Cálcio	-	mg/l Ca					22		
Chumbo	10	µg/l Pb					3		
Cianetos	50	µg/l CN					15		
Cobre	2	mg/l Cu					0,01		
Crómio	50	µg/l CN					2		
1,2-dicloroetano	3	µg/l					0,9		
Dureza total	-	mg/l CaCO3					55		
Enterococos	0	N.º/100 ml					0		
Fluoretos	1,5	mg/l F					0,3		
Magnésio	-	mg/l Mg					1		
Mercúrio	1	µg/l Hg					0,2		
Níquel	20	µg/l Ni					5		
HAP	0,1	µg/l							
Benzo(b)fluoranteno							0,01		
Benzo(k)fluoranteno							0,01		
Benzo(ghi)perileno							0,01		
Indeno(1,2,3-cd)pireno							0,01		
Pesticidas individuais	0,1	µg/l							
Alacloro							0,025		
Atrazina									
Bentazona									
Clortolurão									
Diurão									
Linurão							0,025		
Terbutilazina									
Desetilterbutilazina									
Desetiltatrazina									
Terbuconazole									
Ometoato									
Dimetoato									
Pesticidas (total)	0,5	µg/l					0,025		
Selénio	10	µg/l Se					3		
Cloretos	250	mg/l Cl					13		
Tetracloroetano e tricloroetano	10	mg/l							
Tetracloroetano							1,5		
Tricloroetano							1,5		
Trihalometanos	100	µg/l							
Clorofórmio							11		
Bromodichlorometano							5		
Dibromoclorometano							5		
Bromofórmio							5		
Sódio	200	mg/l Na					5		
Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C					3,9		
Sulfatos	250	mg/l SO4					18		
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l					0,06		
Epicloridrina	0,1	µg/l					0,06		
Acrilamida	0,1	µg/l					0,05		

Fig.C.2 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 1 para a instalação de Vila Pouca de Aguiar.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Share

Q10 : X ✓ fx Fevereiro : X ✓ fx Causas

B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z AA

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**DIAGNÓSTICO E CONTROLO** [Voltar ao Início](#)

Incumprimentos Paramétricos	Valores Registados																		Valor Limite	Unidades	
	2016		2013					2014					2015								
	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro			Dezembro
Desinfetante residual	0,1	0,7				0,1	0,1	1,5	1,2	1,5	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2 - 0,6	mg/l Cl2

Incumprimentos Paramétricos	Causas				Sistema de tratamento
	Antropogénicas	Naturais	Outras		
Desinfetante residual	Falta de desinfetante residual				Deterioração da qualidade da água e concentração de desinfetante na rede Processos unitários de tratamento inadequados ou equipamento deficiente

Ready

Fig.C.3 – Folha do Diagnóstico de dezembro para a instalação de Vila Pouca de Aguiar.

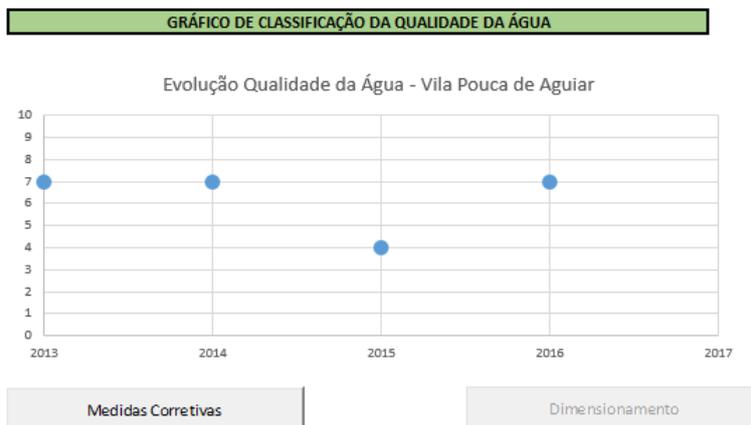


Fig.C.4 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Vila Pouca de Aguiar.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Format Tell me Catarina... Share

Imagem 6

REN CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**MEDIDAS CORRETIVAS**

CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA (POÇOS E FUROS)		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Quantidade insuficiente de água disponível para captação	Garantir a existência de planos de emergência Garantir caudal de exploração adequado
	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Garantir existência de bomba de substituição Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
Parâmetros Microbiológicos	Contaminação do poço/furo	Garantir que os materiais e revestimentos da captação se encontram em bom estado
Parâmetros Organoléticos		Garantir a proteção da zona de captação a vulnerabilidades externas
Parâmetros Físico-químicos		
Parâmetros Indesejáveis		
Parâmetros Tóxicos	Estragos na cabeça do poço	Garantir correta vedação

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA TRATADA		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Fugas de água nas condutas	Estabelecer um programa de deteção de fugas
	Variações de pressão	Instalar acessórios que previnam pressões negativas e fluxo inverso nas condutas
Parâmetros Microbiológicos	Acumulação de sedimentos ou biofilmes	Estabelecer programa de limpeza
Parâmetros Microbiológicos	Estado de conservação de condutas	Garantir um residual de cloro adequado a montante e a jusante do local onde se faz a reparação ou a instalação da nova conduta
Parâmetros Indesejáveis		Garantir a existência de um plano de manutenção
Parâmetros Organoléticos		
Parâmetros Tóxicos		

SISTEMA DE DESINFECÇÃO COM HIPOCLORITO DE SÓDIO				
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo		
Parâmetros Microbiológicos	Dosagem incorreta de desinfetante	Proceder a ajustes de dosagens de hipoclorito de sódio Obter informação consistente do caudal e volume de água a tratar Verificação de obstruções dos tubos de aspiração		
		Mau funcionamento do sistema doseador	Verificação do ponto de injeção Garantir a existência de um plano de manutenção para o sistema doseador Garantir a existência de um plano de calibração do equipamento	
Parâmetros Físico-químicos	Mau funcionamento do controlador		Garantir a existência de bombas de substituição Verificar conformidade dos registos do controlador Ter em consideração o tempo de vida, manutenção e limpeza de acessórios	
		Subprodutos da Desinfecção	Depósito de desinfetante	Garantir a existência de um plano de calibração do equipamento cloro for incorreta Acompanhamento do nível de solução de hipoclorito de sódio no depósito Garantir a existência de desinfetante no depósito Fazer gestão eficiente do stock Inspeccionar e remover de sólidos depositados no depósito
Parâmetros Microbiológicos	Tempo insuficiente de contacto da água com o desinfetante			Ajustar caudais de forma a promover um tempo de contacto mínimo de 30 minutos
Parâmetros Físico-químicos				

Fig.C.5 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Vila Pouca de Aguiar.

SISTEMA DE FILTRAÇÃO		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Parâmetros Microbiológicos	Perda de carga	Obter informação consistente do caudal e volume de água a tratar
Parâmetros Organoléticos		Verificação do aumento máximo admissível da pressão nos filtros
Parâmetros Físico-químicos	Saturação dos filtros	Ter em consideração as características do meio filtrante
Parâmetros Indesejáveis		Ter em consideração a carga hidráulica a montante do filtro
		Garantir pressões adequadas
		Garantir a existência de um plano de manutenção
Indução de curtos-circuitos	Deficiente controlo da coluna de água sobre o leito filtrante	Garantir a existência de um plano de calibração dos equipamentos
		Inspecções do aspeto dos filtros
		Verificação do grau de colmatção do meio filtrante
		Ter em consideração o tempo de vida útil dos filtros
		Garantir a adequada periodicidade de substituição dos filtros
		Garantir a existência de filtros de reserva
		Evitar a acumulação de bolhas nos poros do meio filtrante
		Controlo adequado da pressão a jusante dos filtros
		Garantir o adequado contacto da água a tratar com a superfície filtrante

SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Manutenção do depósito autoclave e do grupo hidropressor
		Garantir pressão adequada
		Garantir caudal de exploração adequado
		Garantir existência de equipamentos de substituição
Parâmetros Microbiológicos	Incorreta programação da frequência de recirculação	Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
		Inspecção da circulação regular da água
		Obter informação consistente do consumo de água
Estagnação da água	Mau funcionamento do grupo hidropressor	Garantir adequada programação de recirculação
		Garantir conformidade da programação
		Garantir a manutenção e inspeção de todos os elementos do sistema
		Garantir circulação de água regular
		Garantir a existência de um plano de manutenção para o grupo hidropressor
		Garantir a existência de um plano de calibração do equipamento

RESERVATÓRIO DE ÁGUA TRATADA		
Incumprimentos	Causas	Exemplo de medidas de controlo
Falta de água	Fuga da água no reservatório	Garantir a manutenção do reservatório e acessórios
	Falhas elétricas, mecânicas e estruturais	Manutenção do depósito autoclave e do grupo hidropressor
		Garantir pressão adequada
		Garantir caudal de exploração adequado
Parâmetros Microbiológicos	Acumulação de sedimentos ou biofilmes	Garantir existência de bomba de substituição
		Garantir o funcionamento de sistemas de alerta e sinalização
		Limpeza e higienização da cisterna
Parâmetros Indesejáveis	Dimensões inadequadas do reservatório	Inspecção do estado conservativo da estrutura interna
		Inspecção do tubo de ventilação e rede de proteção do respiro
		Garantir o correto posição tubagem entrada e saída
Parâmetros Microbiológicos	Deterioração bacteriológica da água no reservatório de água tratada	Estabelecer programa de limpeza (no mínimo 1 vez por ano), para remover biofilmes e depósitos
		Garantir que o perímetro do reservatório está devidamente protegido e o acesso
Estagnação da água		Minimizar o tempo de retenção da água
		Reduzir o nível máximo da bóia de controlo
		Garantir um residual de cloro adequado
		Garantir a recirculação adequada da água

Fig.C.6 – Folha de Medidas Corretivas para a instalação de Vila Pouca de Aguiar (continuação).

• **Palmela**

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**INTRODUÇÃO DE DADOS**

1. Identificação da instalação: Palmela

2. Utilização da água

Obras na instalação

3. Tipo de abastecimento de água: Cisterna

4. Sistema de Tratamento: Não

4.1. Desinfeção

Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio

Sistema de Desinfeção com ozono

Sistema de Desinfeção com radiação UV

4.2. Filtração

Filtro fino

Filtro de pré-filtração

Filtro de adsorção

4.3. Elementos de Suporte

Reservatório de água tratada

4.3.1. Manutenção: Não

Sistema de recirculação

5. Controlo da qualidade da água

5.1. Data de Controlo: Junho

5.2. Tipo de Controlo: Controlo Consumo Tipo 2

**RELATÓRIO DE ANÁLISES**

Fig.C.7 – Folha de introdução de dados para a instalação de Palmela.

Controlo Consumo Tipo 2			Palmela (2016)			
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade				Junho
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml				0
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml				0
Desinfetante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2				0,1
Controlo de Rotina 2						
Alumínio	200	µg/l Al				30
Amónio	0,5	mg/l NH4				0,02
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C				134
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C				300
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C				83
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml				0
Cor	20	mg/l PtCo				3,4
pH	6,5-9,0	unidades de pH				5,7
Ferro	200	µg/l Fe				50
Manganês	50	µg/l Mn				15
Nitratos	50	mg/l NO3				13
Nitritos	0,5	mg/l NO2				0,02
Oxidabilidade	5	mg/l O2				1
Cheiro	3	Factor de diluição				1
Sabor	3	Factor de diluição				1
Turvação	4	UNT				0,5
Controlo de Inspeção						
Antimónio	5	µg/l Sb				
Arsénio	10	µg/l As				
Benzeno	1	µg/l				
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l				
Boro	1	mg/l B				
Bromatos	10	µg/l BrO3				
Cádmio	5	µg/l Cd				
Cálcio	-	mg/l Ca				
Chumbo	10	µg/l Pb				3
Cianetos	50	µg/l CN				
Cobre	2	mg/l Cu				
Crómio	50	µg/l CN				
1,2-dicloroetano	3	µg/l				
Dureza total	-	mg/l CaCO3				22
Enterococos	0	N.º/100 ml				0
Fluoretos	1,5	mg/l F				0,1
Magnésio	-	mg/l Mg				1,9
Mercurio	1	µg/l Hg				0,2
Níquel	20	µg/l Ni				
HAP	0,1	µg/l				
Benzo(b)fluoranteno						
Benzo(k)fluoranteno						
Benzo(ghi)perileno						
Indeno(1,2,3-cd)pireno						
Pesticidas individuais	0,1	µg/l				
Alacloro						0,025
Atrazina						0,025
Bentazona						0,025
Clortolurão						
Diurão						
Linurão						0,025
Terbutilazina						0,283
Desetilterbutilazina						0,322
Desetiltatrazina						0,025
Terbuconazole						
Ómetoato						
Dimetoato						
Pesticidas (total)	0,5	µg/l				0,605
Selénio	10	µg/l Se				
Cloretos	250	mg/l Cl				
Tetracloroetano e tricloroetano	10	mg/l				
Tetracloroetano						
Tricloroetano						
Trihalometanos	100	µg/l				
Clorofórmio						
Bromodiorometano						
Dibromodiorometano						
Bromofórmio						
Sódio	200	mg/l Na				
Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C				
Sulfatos	250	mg/l SO4				
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l				0,06
Epícloridrina	0,1	µg/l				
Acilamida	0,1	µg/l				

Fig.C.8 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 2 para a instalação de Palmela.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira

D35 Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da Instalação

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**DIAGNÓSTICO E CONTROLO** [Voltar ao Início](#)

Incumprimentos Paramétricos	Valores Registados																Valor Limite	Unidades				
	2016	2013					2014					2015										
	Junho	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho			Agosto	Outubro	Dezembro	
Desinfetante residual	0,1					0,1					0,1					0,1					0,2 - 0,6	mg/l Cl <sub>2</sub>
Número de colónias 22°C	134					63					78					36					Sem alteração anor	N.º/ml a 22°C
Número de colónias 37°C	300					67					197					50					Sem alteração anor	N.º/ml a 37°C
pH	5,7					6,7					6,2					6,2					6,5-9,0	unidades de pH
Dureza total	22					26					27					26					-	mg/l CaCO <sub>3</sub>
Terbutilazina	0,283					0,025					0,025					0,28						
Desetilterbutilazina	0,322					0,025					0,025					0,086						
Pesticidas (total)	0,605					0,025					0,025					0,0366					0,5	µg/l

Incumprimentos Paramétricos	Causa			
	Antropogénicas	Naturais	Outras	Sistema de tratamento
Desinfetante residual	Falta de desinfetante residual			
Número de colónias 22°C	Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da Instalação		Elevado tempo de permanência da água na rede de abastecimento	
Número de colónias 37°C	Contaminação microbiológica (ou fecal)			
pH	Falta de desinfetante residual	Origem da natureza geológica e/ou do terreno		
Dureza total	Falta de manutenção e/ou limpeza dos elementos de abastecimento	Origem da natureza geológica e/ou do terreno		
Pesticidas (total)	Associado à zona envolvente rural e/ou agrícola da Instalação	Associado à ocorrência de cheias		
Terbutilazina	Descargas de efluentes residuais urbanos e/ou industriais			
Desetilterbutilazina				

Fig.C.9 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Palmela.

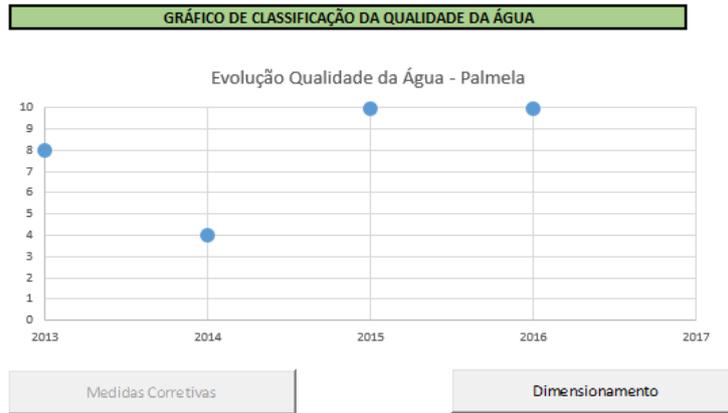


Fig.C.10 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Palmela.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Share

M32

REN CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**DIMENSIONAMENTO**

Proposta de Sistema de Tratamento

Pré-filtração + Filtração + Desinfecção

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	BREVE DESCRIÇÃO
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox
Filtração	Filtro de adsorção	Carvão ativado
Desinfecção	Hipoclorito de Sódio	Bomba doseadora
		Controlador químico
		Sondas de pH e cloro residual
		Célula de fluxo
		Depósito de desinfetante

**DIMENSIONAMENTO**

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	DOCUMENTAÇÃO
			Manual de Instruções e
Pré-filtração	Filtro grosso	Marca	Ref. 6
		Comprimento (mm)	
		Meio filtrante	
		Malha micron (um)	
	Suporte de cartucho	Marca	

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	DOCUMENTAÇÃO
			Manual de Instruções e
Filtração	Filtro de adsorção	Marca	Ref. 6
		Comprimento (mm)	
		Meio filtrante	
		Malha micron (um)	
		Suporte de cartucho	
		Marca	

Fig.C.11 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Palmela.

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	DOCUMENTAÇÃO Manual de Instruções e		
Desinfeção com hipoclorito de sódio	Bomba doseadora	Marca	EMEC	Ref. 1	
		Modelo	VMS MF		
		Capacidade unitária da bomba doseadora	6		
		Pressão de serviço necessária (bar)	7		
	Controlador químico automático	Marca	B&C	Ref. 2	
		Modelo	B&C CL 7685		
		Acessórios	Sondas de pH e cloro residual		
			Célula de fluxo		
	Depósito de desinfetante	Capacidade (L)	50	Ref. 3	
		Altura (mm)	690		
		Diâmetro (mm)	360		
		Material	PEAD		
	Desinfetante químico	Referência	Cloro líquido UN 1791	Ref. 4	
		Concentração de cloro (%)	12		
		Fator de diluição	1L de hipoclorito a 12 % para cada 10 L de água		

ANÁLISE DE CUSTOS			
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	ANÁLISE DE CUSTOS (Euros)	
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox	100
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70
Filtração	Filtro de adsorção	Carvão ativado	50-60
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70
Desinfeção	Hipoclorit	Bomba doseadora	500
		Controlador químico	500
		Sondas de pH e cloro residual	100
		Célula de fluxo	80
		Depósito de desinfetante	45

Fig.C.12 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Palmela (continuação).

• Pedralva

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**INTRODUÇÃO DE DADOS**

1. **Identificação da instalação** Pedralva

2. **Utilização da água**

Obras na instalação

3. **Tipo de abastecimento de água** Ligação Direta

4. **Sistema de Tratamento** Não

4.1. **Desinfeção**

Sistema de Desinfeção com hipoclorito de sódio

Sistema de Desinfeção com ozono

Sistema de Desinfeção com radiação UV

4.2. **Filtração**

Filtro fino

Filtro de pré-filtração

Filtro de adsorção

4.3. **Elementos de Suporte**

Reservatório de água tratada

4.3.1. **Manutenção** Não

Sistema de recirculação

5. **Controlo da qualidade da água**

5.1. **Data de Controlo** Abril

5.2. **Tipo de Controlo** Controlo Consumo Tipo 4

**RELATÓRIO DE ANÁLISES**

Fig.C.13 – Folha de introdução de dados para a instalação de Pedralva.

Controlo Consumo Tipo 4			Pedralva (2016)				
Controlo de Rotina 1	Valor Paramétrico	Unidade					Abril
Escherichia coli (E. Coli)	0	N.º / 100 ml					
Coliformes totais	0	N.º / 100 ml					
Desinfetante residual	0,2 - 0,6	mg/l Cl2					0,1
Controlo de Rotina 2							
Alumínio	200	µg/l Al					
Amónio	0,5	mg/l NH4					
Número de colónias 22°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 22°C					
Número de colónias 37°C	Sem alteração anormal	N.º/ml a 37°C					
Condutividade	2500	µS/cm a 20°C					
Clostridium perfringens	0	N.º/100 ml					
Cor	20	mg/l PtCo					
pH	6,5-9,0	unidades de pH					7,2
Ferro	200	µg/l Fe					
Manganês	50	µg/l Mn					36
Nitratos	50	mg/l NO3					
Nitritos	0,5	mg/l NO2					
Oxidabilidade	5	mg/l O2					
Cheiro	3	Factor de diluição					
Sabor	3	Factor de diluição					
Turvação	4	UNT					
Controlo de Inspeção							
Antimónio	5	µg/l Sb					
Arsénio	10	µg/l As					
Benzeno	1	µg/l					
Benzo(a)pireno	0,01	µg/l					
Boro	1	mg/l B					
Bromatos	10	µg/l BrO3					
Cádmio	5	µg/l Cd					
Cálcio	-	mg/l Ca					
Chumbo	10	µg/l Pb					
Cianetos	50	µg/l CN					
Cobre	2	mg/l Cu					
Crómio	50	µg/l CN					
1,2-dicloroetano	3	µg/l					
Dureza total	-	mg/l CaCO3					28
Enterococos	0	N.º/100 ml					
Fluoretos	1,5	mg/l F					
Magnésio	-	mg/l Mg					
Mercurio	1	µg/l Hg					
Níquel	20	µg/l Ni					
HAP	0,1	µg/l					
Benzo(b)fluoranteno							
Benzo(k)fluoranteno							
Benzo(hi)perileno							
Indeno(1,2,3-cd)pireno							
Pesticidas individuais	0,1	µg/l					
Alacloro							
Atrazina							
Bentazona							
Clortolurão							
Diurão							
Linurão							
Terbutilazina							
Desetilterbutilazina							
Desetiltatrazina							
Terbuconazole							
Ometoato							
Dimetoato							
Pesticidas (total)	0,5	µg/l					
Selénio	10	µg/l Se					
Cloretos	250	mg/l Cl					
Tetracloroetano e tricloroetano	10	mg/l					
Tetracloroetano							
Tricloroetano							
Trihalometanos	100	µg/l					
Clorofórmio							
Bromodichlorometano							
Dibromoclorometano							
Bromofórmio							
Sódio	200	mg/l Na					
Carbono orgânico total	Sem alteração anormal	mg/l C					
Sulfatos	250	mg/l SO4					
Cloreto de vinilo	0,5	µg/l					
Epicloridrina	0,1	µg/l					
Acrilamida	0,1	µg/l					

Fig.C.14 – Folha do Controlo de Consumo Tipo 4 para a instalação de Pedralva.

FerramentaREN - Excel

FerramentaREN - Excel

Catarina Pereira

Q10 Fevereiro

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**DIAGNÓSTICO E CONTROLO** [Voltar ao Início](#)

Incumprimentos Paramétricos	Valores Registados																		Valor Limite	Unidades		
	2016		2013				2014				2015											
	Abril	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro	Dezembro	Fevereiro	Abril	Junho	Agosto	Outubro			Dezembro	
Desinfetante residual	0,1					0,1						0,2						0,1			0,2 - 0,6	mg/l Cl2
Dureza total	28					25						34						33			-	mg/l CaCO3
Incumprimentos Paramétricos	Antropogénicas				Naturais				Outras				Sistema de tratamento									
Desinfetante residual	Falta de desinfetante residual																					
Dureza total					Origem da natureza geológica e/ou do terreno																	

Fig.C.15 – Folha do Diagnóstico para a instalação de Pedralva.

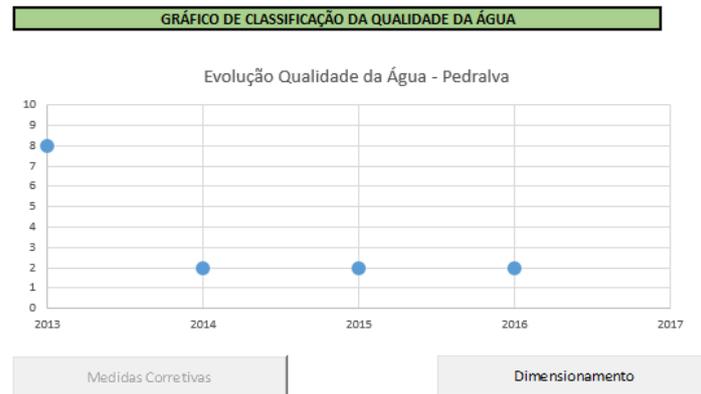


Fig.C.16 – Gráfico de classificação da qualidade da água na instalação de Pedralva.

FerramentaREN - Excel

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Tell me what you want to do... Catarina Pereira Share

J54 Sensores intensidade de radiação

**REN** CONTROLO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DE CAPTAÇÕES SUBTERRÂNEAS EM INSTALAÇÕES DA REN

**DIMENSIONAMENTO**

Proposta de Sistema de Tratamento

Pré-filtração + Filtração + Desinfecção

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	BREVE DESCRIÇÃO
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox Os filtros de pré-filtração são adequados para a oxidação e retenção de metais, remoção de cheiro e turvação
Filtração	Filtro fino	Fibra sintética Os filtros de fibra sintética são adequados para a retenção de microorganismos e matéria em suspensão
Desinfecção	Sistema UV	Câmara de desinfecção UV A câmara de desinfecção é a unidade por onde passa a água a tratar e serve de suporte às lâmpadas de radiação UV
		Lâmpadas UV de baixa pressão As lâmpadas UV de baixa pressão permitem a desinfecção por emissão de radiação UV
		Balastro O balastro é o transformador que permite o arranque e a estabilização da lâmpada UV
		Sensores de intensidade de Os sensores permitem acompanhar a intensidade de radiação UV e a eficácia energética da lâmpada

**DIMENSIONAMENTO**

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	DOCUMENTAÇÃO Manual de Instruções e Operação
Pré-filtração	Filtro grosso	Marca	3M
		Comprimento (mm)	64 - 254
		Meio filtrante	Aço Inox
		Malha micron (um)	50 - 200
	Suporte de cartucho	Marca	3M

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	DOCUMENTAÇÃO Manual de Instruções e Operação
Filtração	Filtro fino	Marca	3M
		Comprimento (mm)	64 - 254
		Meio filtrante	Fibra Sintética
		Malha micron (um)	5 - 20
	Suporte de cartucho	Marca	3M

Fig.C.17 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Pedralva.

TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO		DOCUMENTAÇÃO
				Manual de Instruções e Operação
Desinfeção com radiação UV	Câmara UV	Marca	TROJAN UV	Ref. 5
		Modelo	TROJANUVSWIFT SC	
		Pressão máxima de operação (bar)	10	
		Temperatura máxima do fluido (°C)	40	
		Mecanismo de limpeza	Manual	
	Lâmpadas	Acessórios	Sensores intensidade de radiação	
			Painel de Controlo	
			Balastro Eletrónico	
		Nº lâmpadas	1	
		Tipo de lâmpada	baixa pressão	
		Consumo energético (W)	70-100	
		Corrente elétrica (mA)	350-550	
		Tensão elétrica (V)	220	
		Eficácia energética (%)	30-40	
		Temperatura (°C)	35-45	
Diâmetro (mm)	15-20			
Comprimento (mm)	750-1500			
Pressão de vapor (mmHg)	0,007			

ANÁLISE DE CUSTOS			
TRATAMENTO	EQUIPAMENTOS	ANÁLISE DE CUSTOS (Euros)	
Pré-filtração	Filtro grosso	Aço inox	100
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70
Filtração	Filtro fino	Fibra sintética	30-40
	Suporte Filtro	Suporte cartucho	50-70
Desinfeção	Sistema UV	Câmara de desinfeção UV	3.000-4.000
		Lâmpadas UV de baixa pressão	200

Fig.C.18 – Folha do Dimensionamento para a instalação de Pedralva (continuação).