



**Soraia Alexandra da Silva Saraiva**

Licenciada em Engenharia do Ambiente

## **Avaliação da eficiência da desinfeção de efluentes urbanos com recurso a cloro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente - Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro Mano,  
FCT/UNL

Co-orientador: Engenheira Lisete Epifâneo, Águas de  
Lisboa e Vale do Tejo

Júri:

Presidente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Arguente: Prof.<sup>a</sup> Doutora Rita Maurício Rodrigues Rosa

Vogal: Prof. Doutor António Pedro Mano



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Novembro de 2015**





**Soraia Alexandra da Silva Saraiva**  
Licenciada em Engenharia do Ambiente

## **Avaliação da eficiência da desinfeção de efluentes urbanos com recurso a cloro**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente - Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professor Doutor António Pedro Mano,  
FCT/UNL  
Co-orientador: Engenheira Lisete Epifâneo, Águas de  
Lisboa e Vale do Tejo



Novembro de 2015



## **Avaliação da eficiência da desinfecção de efluentes urbanos com recurso a cloro**

©Copyright em nome de Soraia Alexandra da Silva Saraiva, da FCT/UNL e da UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Ao professor António Pedro Mano, meu orientador, deixo uma palavra de enorme gratidão pelo apoio e incentivo, que manteve ao longo do desenvolvimento do trabalho, como também pelo enriquecimento técnico e científico e revisão do texto.

Aos engenheiros Lisete Epifânio e José Pacheco da empresa AdLVT, agradeço a oportunidade de realização do presente trabalho e auxílio prestado durante a realização dos ensaios de campo.

Quero dirigir uma palavra que profundo apreço, aos meus pais e avós, que sempre me incentivaram e apoiaram na persecução dos meus sonhos e ambições, tornando-os, em tudo o que deles dependia, uma realidade alcançável.

Agradeço a todos os meus amigos, que nos momentos bons e nos menos bons estiveram sempre comigo quando mais precisei, em especial, à minha parelha e madrinha Helga Silva, que sempre me acompanhou durante a minha vida académica, acreditando em mim e no meu trabalho.

Por fim, à minha cara metade João Lopes, pelo apoio, amor e paciência intermináveis nesta etapa final do curso.



## **Resumo**

A descarga de efluentes urbanos pode afetar a qualidade dos meios recetores e comprometer os seus usos atuais e potenciais, mesmo depois dos efluentes sofrerem tratamento, se esse não for adequado. Do ponto de vista bacteriológico, a contaminação das origens de água para consumo humano e das zonas de prática balnear podem colocar em risco a saúde pública.

A desinfecção por radiação ultravioleta, apresentou, na última década, um grande desenvolvimento, tendo constituído uma alternativa comumente utilizada. Apesar das vantagens associadas a esta tecnologia, ela é particularmente sensível à qualidade do efluente e apresenta custos de operação e manutenção muito elevados.

As ETAR de Fernão Ferro e Seixal, foram utilizadas como casos de estudo, tendo-se efetuado um conjunto de ensaios por forma a avaliar o cumprimento dos objetivos de qualidade relativos à remoção da poluição bacteriológica do efluente tratado com a variação da concentração e do tempo de contacto com o cloro bem como a formação de subprodutos. Apesar de não terem sido detetados quaisquer subprodutos e dos custos associados à utilização do hipoclorito claramente inferiores aos da radiação ultravioleta, os resultados apurados não são conclusivos, recomendou-se a realização de ensaios quer de laboratório quer de campo por forma a permitir suportar uma decisão futura.

**Palavras-chave:** efluentes urbanos; desinfecção; ETAR; subprodutos.



## **Abstract**

The discharge of urban effluents can affect the quality of environment receptor and compromise actual and potencial uses of them, even after the effluents suffer treatment, if that is not appropriate. The bacteriological point of view, the contamination of water sources for human consumption and bathing area can be put public health at risk.

The disinfection by ultraviolet radiation, introduced in the last decade, a major development, having been an alternative commonly used. Even though it presents associated advantages, the technology is particularly sensitive to the quality of the effluent and displays high operation and maintenance costs. .

The WWTP Fernão Ferro and Seixal, were used as a case of study, where set of tests with de purpose to evaluate the achievement of quality objectives related to the removal of bacteriological pollution with variation of chlorine concentration and contact time as well as subproducts formation. Although we have not detected any subproducts and the costs linked to hypochlorite utilization are clearly below ultraviolet radiation, the results are not conclusives, it is recommended the realization either laboratory or field tests in order to allow stand a future decision.

**Key words:** urban effluents; disinfection; WWTP; subproducts.



## Índice

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	OBJETIVO.....	3
3	TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS.....	5
3.1	Caracterização de águas residuais .....	5
3.2	Principais etapas de tratamento de águas residuais urbanas .....	6
3.3	Legislação relativa ao tratamento de águas residuais .....	8
4	DESINFECÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS .....	11
4.1	A contaminação das águas e saúde pública.....	11
4.2	Microrganismos indicadores.....	12
4.3	Tecnologias de desinfecção.....	13
4.3.1	Desinfecção por cloro.....	14
4.3.1.1	Reações do cloro na água .....	14
4.3.2	Estabilidade e durabilidade do hipoclorito de sódio .....	16
4.3.3	Aspetos associados ao manuseamento do hipoclorito de sódio .....	17
4.3.3.1	Fatores que afetam a eficiência da desinfecção por cloro.....	18
4.3.3.2	Formação de subprodutos .....	19
4.3.4	Desinfecção por radiação ultravioleta .....	20
4.3.4.1	Fatores que afetam a eficiência da desinfecção por UV .....	22
4.3.5	Aplicação das tecnologias de desinfecção .....	23
4.4	Fatores a considerar na seleção do processo de desinfecção.....	24
4.5	Reutilização de águas residuais tratadas .....	26
5	CASOS DE ESTUDO.....	29
5.1	Apresentação da empresa .....	29
5.2	Descrição das ETAR em estudo .....	30
5.2.1	ETAR de Fernão Ferro .....	30
5.2.1.1	Caracterização do sistema de tratamento.....	30
5.2.1.2	Caracterização quantitativa e qualitativa do afluente.....	31
5.2.1.3	Exigências de qualidade do efluente.....	32
5.2.1.4	Caracterização do sistema atual de desinfecção .....	32
5.2.2	ETAR do Seixal .....	34
5.2.2.1	Caracterização do sistema de tratamento.....	34
5.2.2.2	Caracterização quantitativa e qualitativa do afluente.....	35
5.2.2.3	Exigências de qualidade do efluente.....	36
5.2.2.4	Caracterização do sistema atual de desinfecção .....	36
6	METODOLOGIA .....	39
7	RESULTADOS .....	45
7.1	Ensaio com hipoclorito de sódio.....	45
8	DISCUSSÃO E EXPLORAÇÃO DOS RESULTADOS .....	47
8.1	Ensaio de campo.....	47
8.2	Estimativa de custos.....	53
8.2.1	Balanco energético.....	53

8.2.2	Custos de investimento .....	53
8.2.3	Energia Elétrica .....	54
8.2.4	Reagentes .....	54
8.2.5	Manutenção .....	55
8.2.6	Custos totais atualizados e tarifas.....	55
9	CONCLUSÕES .....	57
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
11	ANEXO I – Estimativa de custos.....	63

## Índice de Figuras

Figura 3.1 - Diagrama esquemático de uma linha de tratamento convencional de águas residuais urbanas .....	6
Figura 4.1 - Distribuição do ácido hipocloroso e ião hipoclorito em água, em diferentes valores de pH e temperatura .....	15
Figura 4.2 - Curva típica de desinfecção em águas residuais constituídas por compostos oxidáveis e sólidos suspensos .....	19
Figura 4.3 - Banda de UV germicida no espectro da radiação eletromagnética .....	21
Figura 5.1 - Vista aérea da ETAR de Fernão Ferro .....	30
Figura 5.2 – Sequência de tratamento da ETAR de Fernão Ferro .....	31
Figura 5.3 - Sistema de desinfecção instalado na ETAR de Fernão Ferro .....	34
Figura 5.4 – Vista aérea da ETAR do Seixal .....	34
Figura 5.5 – Sequência de tratamento da ETAR do Seixal .....	35
Figura 5.6 - Fotografias do sistema de desinfecção UV3000 da Trojan instalado na ETAR do Seixal e de um dos módulos constituintes do sistema.....	37
Figura 6.1 – Locais do doseamento de hipoclorito de sódio na ETAR de Fernão Ferro.....	40
Figura 6.2 – Locais do doseamento de hipoclorito de sódio na ETAR do Seixal .....	41
Figura 8.1 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório externo) .....	49
Figura 8.2 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório interno) .....	49
Figura 8.3 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório interno) .....	51
Figura 8.4 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório externo) .....	51



## Índice de Quadros

Quadro 3.1 - Composição típica de uma água residual urbana .....	5
Quadro 3.2 – Valores limite de emissão .....	8
Quadro 3.3 - Qualidade microbiológica relativa às águas conquícolas e balneares .....	9
Quadro 4.1 - Eficiências de remoção bacteriológica em processos de tratamento de águas residuais urbanas .....	11
Quadro 4.2 - Agentes infecciosos potencialmente presentes em efluentes domésticos não tratados.....	12
Quadro 4.3 - NMP em diferentes tipos de efluentes .....	12
Quadro 4.4 - Processos de desinfecção de águas .....	13
Quadro 4.5 - Coliformes totais remanescente em efluentes primário e secundário.....	16
Quadro 4.6 - Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por cloragem.....	19
Quadro 4.7 - Características das lâmpadas UV utilizadas na desinfecção de águas residuais ..	22
Quadro 4.8 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por radiação UV.....	23
Quadro 4.9 – Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem e UV (1/2) ..	23
Quadro 4.10 - Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem e UV (2/2) .	24
Quadro 4.11 - Dose de desinfetante a utilizar para vários níveis de inativação de bactérias, vírus e protozoários num efluente secundário filtrado .....	25
Quadro 4.12 – Comparação de critérios técnico-económica de algumas tecnologias de desinfecção .....	26
Quadro 4.13 - Qualidade das águas destinadas à rega .....	28
Quadro 5.1 – Características do afluente da ETAR de Fernão Ferro, para efeitos de dimensionamento .....	31
Quadro 5.2 - Características quantitativas e qualitativas médias atuais do afluente da ETAR de Fernão Ferro.....	32
Quadro 5.3 – Requisitos de qualidade do efluente tratado na ETAR de Fernão Ferro.....	32
Quadro 5.4 - Características operacionais das lâmpadas da ETAR de Fernão Ferro .....	33
Quadro 5.5 – Características do afluente da ETAR do Seixal para efeitos de dimensionamento (1/2) .....	35
Quadro 5.6 - Características do afluente da ETAR do Seixal para efeitos de dimensionamento (2/2) .....	36
Quadro 5.7 - Características quantitativas e qualitativas atuais do afluente da ETAR do Seixal .....	36
Quadro 5.8 – Requisitos de descarga da ETAR do Seixal .....	36
Quadro 5.9 - Características técnicas do sistema de desinfecção instalado na ETAR do Seixal	37
Quadro 6.1 – Ensaio realizados, locais de recolha e parâmetros analisados na ETAR de Fernão Ferro.....	39

Quadro 6.2 - Ensaio realizados, locais de recolha e parâmetros analisados na ETAR do Seixal .....	40
Quadro 6.3 - Caudais, concentrações de hipoclorito de sódio e tempos de contacto utilizados nos ensaios de campo .....	41
Quadro 6.4 – Parâmetros analisados nos laboratórios interno e externo .....	43
Quadro 7.1 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno referentes à ETAR de Fernão Ferro.....	45
Quadro 7.2 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno e em laboratório externo referentes à ETAR de Fernão Ferro .....	45
Quadro 7.3 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno referentes à ETAR do Seixal .....	46
Quadro 7.4 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno e em laboratório externo referentes à ETAR do Seixal.....	46
Quadro 8.1 - Consumos energéticos dos equipamentos.....	53
Quadro 8.2 - Custo de investimento associado à desinfeção por hipoclorito de sódio .....	54
Quadro 8.3 - Custo associado ao consumo energético .....	54
Quadro 8.4 – Custo associado ao consumo de hipoclorito de sódio.....	54
Quadro 8.5 – Custo associado à substituição de lâmpadas UV e balastros .....	55
Quadro 8.6 - Custos totais atualizados .....	55
Quadro 8.7 – Custo por metro cúbico de água residual tratada associado a cada processo de desinfeção .....	55
Quadro 11.1 - Estimativa de custos da operação de cloragem a instalar na ETAR de Fernão Ferro .....	63
Quadro 11.2 - Estimativa de custos da operação de desinfeção por UV instalada na ETAR de Fernão Ferro.....	63
Quadro 11.3 - Estimativa de custos da operação de cloragem a instalar na ETAR do Seixal... 64	
Quadro 11.4 - Estimativa de custos da operação de desinfeção por UV instalada na ETAR do Seixal.....	64

## Lista de Siglas e Abreviaturas

E.coli	Escherichia coli
AdLVT	Águas de Lisboa e Vale do Tejo
ETA	Estação de tratamento de águas
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CF	Coliformes Fecais
CL <sub>2</sub>	Cloro gasoso
Cond	Condutividade
CQO	Carência Química de Oxigénio
CT	Coliformes Totais
HOCl	Ácido hipocloroso
ICF	Custo de investimento em capital fixo
NMP	Número Mais Provável
O <sub>3</sub>	Ozono
OCl	Ião hipoclorito
pH	Potencial Hidrogeniónico
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SPD	Subprodutos da desinfeção
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
T	Temperatura
TC	Tempo de contacto
THM	Trihalometanos
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
UV	Ultravioletas



# 1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental nomeadamente a poluição hídrica constitui um dos aspetos mais preocupantes da sociedade contemporânea. De facto, apesar da consciencialização crescente e das normas que regulam a descarga de efluentes urbanos e industriais serem cada vez mais exigentes, a ausência de tratamento e, ou o tratamento deficiente, limitam os objetivos pretendidos (Quevauville et al, 2006 & Sincero, 2002).

À remoção de matéria orgânica e nutrientes, acresce atualmente a remoção de poluição microbiológica por forma a limitar o seu impacto nos meios recetores. As exigências relativas à qualidade bacteriológica dos efluentes urbanos obrigam a um esforço de tratamento significativo, através da adoção de processos de desinfecção tais como cloragem e a radiação ultravioleta.

A radiação ultravioleta tem sido o processo privilegiado, uma vez que limita a formação de subprodutos comumente associados à utilização de cloro. No entanto possui custos elevados de exploração e manutenção, associados quer à substituição de lâmpadas e balastos, quer ao consumo energético. Por outro lado, o ajuste da dose de UV a efluentes que apresentam variações qualitativas e quantitativas muito significativas constitui outro dos problemas. Deste modo, muitas entidades gestoras em Portugal enfrentam problemas como a necessidade de garantir que o efluente tratado cumpre os objetivos de qualidade bem como reduzir os custos de operação e manutenção de equipamentos.



## 2 OBJETIVO

A presente dissertação tem por objetivo contribuir para o estudo comparativo da utilização do cloro e da radiação ultravioleta na desinfecção de efluentes urbanos. O trabalho foi desenvolvido ao abrigo de um protocolo estabelecido com a empresa SIMARSUL, agora Águas de Lisboa e Vale do Tejo (AdLVT), no seguimento de trabalhos anteriormente realizados no âmbito do presente tema, tendo o caso de estudo sido realizado nas estações de tratamento de Fernão Ferro e Seixal. Nestas duas ETAR foi avaliada a eficiência de desinfecção através do doseamento com hipoclorito de sódio, em alternativa à desinfecção por radiação ultravioleta, processo atualmente utilizado.

Este trabalho está organizado em 11 capítulos, correspondendo o primeiro ao enquadramento do trabalho, enquanto no segundo são indicados os principais objetivos da dissertação, assim como a forma como esta está estruturada. O capítulo 3 é constituído pela revisão bibliográfica referente às águas residuais urbanas, nomeadamente, a sua caracterização e tratamento. Neste capítulo, são ainda referidos alguns aspetos do enquadramento legal. O capítulo 4 inclui a descrição das tecnologias de desinfecção com recurso ao cloro e à radiação ultravioleta. Neste capítulo é abordada igualmente a importância da operação de desinfecção na reutilização de águas residuais urbanas. A caracterização dos casos de estudo que suportam a dissertação são apresentados no capítulo 5, enquanto no capítulo 6 é descrita a metodologia utilizada. A apresentação dos resultados experimentais obtidos nos ensaios de campo efetuados nas ETAR é efetuada no capítulo 7. No capítulo 8 são discutidos os resultados obtidos enquanto no capítulo 9 se apresentam as principais conclusões. Por fim, é apresentada a lista de referências e os anexos a que se faz referência ao longo da dissertação.



### 3 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

#### 3.1 Caracterização de águas residuais

As águas residuais urbanas apresentam como principais componentes águas residuais de serviços e instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas, podendo, no entanto, apresentar uma pequena fração de águas residuais provenientes dos sistemas de drenagem (recepção de águas pluviais e de áreas impermeabilizadas) (INAG, 2004). Os contaminantes presentes neste tipo de água residual são, na sua maioria, uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas, dissolvidas e em suspensão, incluindo igualmente, numerosos microrganismos, nomeadamente patogénicos, tornando-se relevante proceder à caracterização qualitativa do efluente (Metcalf & Eddy, 2003). No quadro 3.1 apresenta-se a composição típica de uma água residual urbana de acordo com Metcalf & Eddy, 2003.

Quadro 3.1 - Composição típica de uma água residual urbana  
(Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy, 2003)

Contaminante	Concentração		
	Fraca	Média	Forte
CBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> /L)	110	190	350
CQO (mg O <sub>2</sub> /L)	250	430	800
COT (mg/L)	80	140	260
Sólidos totais em suspensão (mg/L)	120	210	400
Óleos e gorduras (mg/L)	50	90	100
Azoto total (mg N/L)	20	40	70
Azoto orgânico (mg/L)	8	15	25
Azoto amoniacal (mg/L)	12	25	50
Fosforo total (mg P/L)	4	7	12
Fosforo orgânico (mg/L)	1	2	4
Fosforo inorgânico (mg/L)	3	5	8
Nitratos (mg/L)	0	0	0
Nitritos (mg/L)	0	0	0
Sulfatos (mg/L)	20	30	50
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	50	100	200
Compostos orgânicos voláteis (µg/L)	<100	100 – 400	>400
Coliformes totais (NMP/100 ml)	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>10</sup>
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>
<i>Cryptosporidium oocysts</i> (NMP/100 ml)	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>0</sup>	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>2</sup>
Cistos de <i>Giardia lamblia</i> (NMP/100 ml)	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>1</sup>	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>2</sup>	10 <sup>-1</sup> - 10 <sup>3</sup>

É de referir que as variações dos valores dos diferentes parâmetros analisados numa água residual urbana se devem, em grande medida, ao tipo de usos a que essa água se destinou, bem como ao volume de águas utilizadas e ao número de habitantes servidos pelo sistema de saneamento.

A descarga de águas residuais urbanas insuficientemente tratadas pode contribuir para o consumo de oxigénio no meio recetor, potenciar os processos de eutrofização e servir de

veículo à proliferação de vetores e à transmissão de doenças patogénicas (Naughton & Hynds, 2013).

### 3.2 Principais etapas de tratamento de águas residuais urbanas

Uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) tem por objetivo tratar as águas residuais, através de várias fases de tratamento, de modo a que estas possam ser descarregadas nas massas de águas, cumprindo os objetivos de qualidade estipulados por lei e, eventualmente reutilizadas. Os vários níveis de tratamento de uma água residual são geralmente classificados como: preliminar, primário, secundário e terciário. O grau de tratamento a implementar depende das características do efluente bruto, da qualidade exigida ao efluente tratado, do custo e disponibilidade do terreno, da disponibilidade de pessoal especializado, da simplicidade de operação e manutenção requerida e da evolução previsível das normas de rejeição. Na figura 2.1 é apresentado um diagrama simplificado de uma linha de tratamento de águas residuais urbanas.

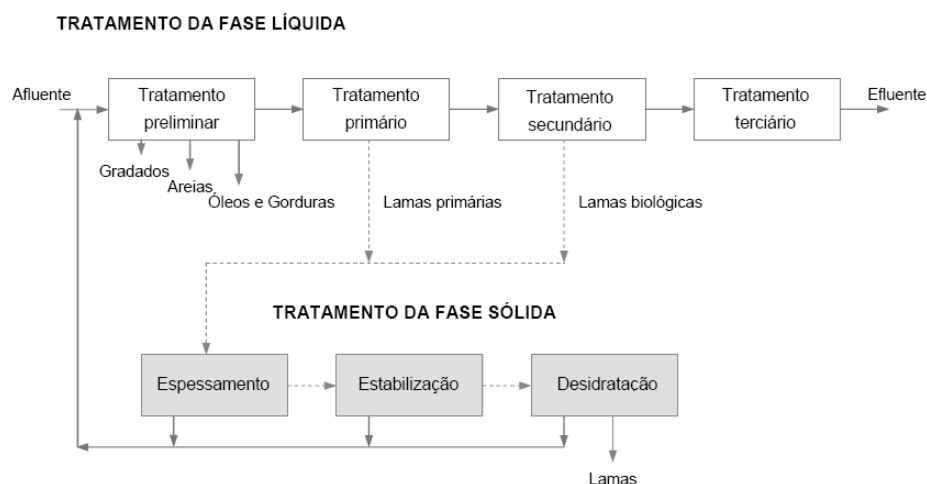


Figura 3.1 - Diagrama esquemático de uma linha de tratamento convencional de águas residuais urbanas (Adaptado de Antunes, 2006)

O tratamento preliminar consiste na eliminação e, ou redução dos elementos grosseiros de forma a adequar o efluente ao tratamento subsequente e proteger os órgãos e equipamentos a jusante, incluindo bombas e válvulas. As operações unitárias normalmente utilizadas no tratamento preliminar incluem a gradagem e a desarenação/desengorduramento.

O tratamento primário consiste na remoção parcial de sólidos em suspensão e de matéria orgânica, normalmente através de processos físicos como a sedimentação (decantação primária). Segundo Metcalf & Eddy (2003), através deste processo é possível obter-se percentagens de remoção de sólidos em suspensão na ordem dos 50 a 70% e de 25 a 40% de matéria orgânica expressa em  $CBO_5$ . Esta etapa, pode incluir a adição de químicos, coagulantes, de modo a acelerar a sedimentação das partículas, apesar de não ser muito frequente.

O tratamento secundário tem por objetivo a remoção de compostos orgânicos solúveis e coloidais e de sólidos em suspensão que permanecem no efluente após o tratamento primário. Genericamente, o tratamento secundário está associado a processos biológicos, com o recurso a microrganismos que decompõem a matéria orgânica biodegradável e que podem igualmente remover nutrientes, azoto e fósforo. Os processos biológicos podem ser classificados, genericamente em, processos de biomassa em suspensão (lamas ativadas) e em processos de biomassa fixa (leitos percoladores, biofiltros e discos biológicos).

O tratamento terciário é uma etapa adicional de tratamento que tem por objetivo uma maior proteção do ambiente, e que inclui normalmente, os processos de filtração e desinfecção através da radiação ultravioleta e, ou da cloragem.

No decurso do tratamento da fase líquida são gerados vários subprodutos designadas por lamas que, antes de serem encaminhados para destino final, deverão ter um tratamento que minimize os seus custos de transporte e torne o seu manuseamento o mais seguro possível.

O tratamento das lamas é geralmente constituído por três fases: espessamento, estabilização e desidratação. Primeiramente, as lamas geradas são espessadas através de processos gravíticos ou mecânicos, com o objetivo de aumentar a concentração de sólidos, e reduzir a sua fração líquida. Após o espessamento, a lama é encaminhada para os processos de estabilização e o sobrenadante é devolvido ao processo de tratamento da fase líquida (Spellman, 2003).

A estabilização das lamas pode ser efetuada química ou biologicamente e permite a redução do seu volume, a estabilização e inertização da matéria orgânica e a eliminação de microrganismos patogénicos, tornando possível a valorização ou eliminação das mesmas (Spellman, 2003).

A desidratação é uma operação que garante uma redução considerável do volume de lamas permitindo através do recurso a processos mecânicos (normalmente filtros banda e centrifugas) ou processos naturais (leitos de secagem) obter uma lama com um teor de matéria seca superior a 17/18% (Metcalf & Eddy, 2003).

As lamas, depois de tratadas, podem ter essencialmente três destinos dependendo da sua qualidade: valorização agrícola, incineração ou aterro sanitário. A valorização agrícola apesar das limitações crescentes é o destino que se procura privilegiar pois a aplicação das lamas ao solo permite a reciclagem de nutrientes contribuindo para uma melhoria da produtividade do solo.

### 3.3 Legislação relativa ao tratamento de águas residuais

A transposição para a legislação nacional da Diretiva do Conselho no 91/271/CEE de 21 de Maio de 1991, que regula o tratamento e a descarga de águas residuais urbanas complementada pela Diretiva n.º 98/15/CE, da Comissão de 27 de Fevereiro de 1998, foi efetuada pelo Decreto de Lei n.º 152/97 de 19 de Junho, posteriormente complementado por: Decreto de Lei n.º 348/98 de 9 de Novembro, Decreto de Lei n.º 261/99 de 7 de Julho, Decreto de Lei n.º 172/2001 de 26 de Maio, Decreto de Lei n.º 149/2004 de 22 de Junho e pelo Decreto de Lei n.º 198/2008 de 8 de Outubro.

O Decreto de Lei n.º 152/97, de 19 de Junho tem como principal objetivo a proteção do ambiente das descargas das águas residuais urbanas e das águas residuais de determinados sectores industriais, através do estabelecimento de critérios de recolha, tratamento e descarga das mesmas. Estabelece igualmente os objetivos de qualidade a exigir às águas residuais descarregadas por estações de tratamento de águas residuais urbanas em função da sensibilidade do meio recetor. Em casos específicos pode ser requerido um nível de tratamento mais exigente (a desinfeção, por exemplo), e noutros casos pode ser admitido apenas tratamento primário, dependendo das características do meio recetor. No quadro 3.2 resumem-se os requisitos para a descarga do efluente de ETAR que contemplam tratamento secundário e descarga em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização, segundo o Decreto de Lei n.º 152/97, de 19 de Junho.

Quadro 3.2 – Valores limite de emissão  
(Decreto de Lei n.º 152/97, de 19 de Junho)

Parâmetros	Concentração	Percentagem mínima de redução (%)
CBO <sub>5</sub> a 20°C sem nitrificação	25 mg O <sub>2</sub> /L	70 – 90
CQO	125 mg O <sub>2</sub> /L	75
SST	35 mg/L *	90 *
	60 mg/L **	70 **
N <sub>total</sub>	15 mg N/L ***	70 – 80
	10 mg N/L ****	
P <sub>total</sub>	2 mg P/L ***	80
	1 mg P/L ****	

Legenda :\* - ETAR com e.p. superior a 10 000 ; \*\* - ETAR com e.p. de 2 000 a 10 000; \*\*\* - ETAR com e.p. de 10 000 a 100 000; \*\*\*\* - ETAR com e.p. superior a 100 000

A diretiva 76/10/CEE, de 8 de Dezembro, transposta para o Direito Interno pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, estabelece o n.º 1 do artigo 4.º a obrigatoriedade de cada Estado Membro da Comunidade Europeia seguir as disposições necessárias para que a qualidade das águas balneares satisfaça os valores limite definidos. O Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto, estabelece normas de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função das suas principais utilizações. Deste modo, são estabelecidos valores limite de emissão para um conjunto de substâncias contaminantes bem como valores máximos recomendáveis e máximos admissíveis para os diversos parâmetros de acordo com os principais usos do meio aquático. Os usos referidos neste decreto de lei são: águas

piscícolas, águas conquícolas, águas balneares e águas para rega. Os quadros 3.3 e 3.4 sintetizam alguns desses requisitos de descarga.

Quadro 3.3 - Valores limite de emissão na descarga de águas residuais  
(Decreto de Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto)

Parâmetros	Unidade	Valor limite de emissão
CBO	mg O <sub>2</sub> /L	40
CQO	mg O <sub>2</sub> /L	150
SST	mg/L	60
N <sub>total</sub>	mg N/L	15
Azoto amoniacal	mg NH <sub>4</sub> /L	10
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	50
P <sub>Total</sub>	mg P/L	10
Cloro livre	mg Cl <sub>2</sub> /L	0,5
Cloro total	mg Cl <sub>2</sub> /L	1

Quadro 3.3 - Qualidade microbiológica relativa às águas conquícolas e balneares  
(Decreto de Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto)

Parâmetros microbiológicos	VMR	VMA
<b>Águas conquícolas</b>		
Coliformes fecais/100 ml	≤ 300 na polpa do molusco e no líquido a intervalar <sup>(1)</sup>	
<b>Águas balneares</b>		
Coliformes totais/100 ml	500	10.000
Coliformes fecais/100 ml	100	2.000
Estreptococos fecais/100 ml	100	-
Salmonelas/1 L	-	0
Enterovirus PFU/10 L	-	0

(1) Enquanto se aguarda que seja adotada uma Diretiva relativa à proteção dos consumidores de produtos conquícolas, este valor deve ser imperativamente respeitado nas águas onde vivem moluscos diretamente consumidos pelo homem.

É igualmente importante referir que a monitorização das descargas de águas residuais e a comunicação dos resultados à entidade licenciadora são de carácter obrigatório por parte da entidade que efetua a descarga, sendo ainda avaliada a conformidade com os valores limite de emissão fixados na norma de descarga.



## 4 DESINFEÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS

### 4.1 A contaminação das águas e saúde pública

A composição microbiológica das águas residuais urbanas é um aspeto de extrema importância para as entidades gestoras, entidades reguladoras dos serviços de água e entidades responsáveis pela salvaguarda da saúde pública, pelo facto de apresentarem na sua composição inúmeros microrganismos, nomeadamente patogénicos, com capacidade de veicular inúmeras doenças através da sua ingestão ou contacto (Gaspar, 2012).

Deste modo, face à procura de recursos hídricos para atividades de recreio e lazer, a ausência de remoção microbiológica das águas residuais urbanas pode potenciar a exposição humana àquelas descargas.

Ao longo das operações e processos de tratamento os microrganismos vão sendo eliminados chegando mesmo a atingir, nos tratamentos secundários, percentagens de remoção de cerca de 99%. No entanto, para atingir os padrões de qualidade microbiológica exigíveis, a eficiência de remoção pode ter que ser superior a 99.99%. Geralmente, os tratamentos secundários permitem obter uma percentagem de remoção entre 90% e 98%, o que representa uma redução de apenas 1 a 2 ordens logarítmicas. No quadro 4.1 apresenta-se a eficiência média de remoção bacteriológica associada a alguns processos de tratamento de águas residuais urbanas.

Quadro 4.1 - Eficiências de remoção bacteriológica em processos de tratamento de águas residuais urbanas

(Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

Processo de tratamento		% Remoção
Preliminar	-	<25
Primário	-	<75
Secundário	Leitos percoladores	90-95
	Lamas ativadas	90-98
Terciário	Cloragem	98-99,999

Os patogénicos presentes nas águas residuais e suscetíveis de disseminação no ambiente classificam-se nos seguintes grupos: bactérias, protozoários, helmintas e vírus. No quadro 4.2 listam-se alguns dos géneros de patogénicos mais vulgares nas águas residuais dentro dos quatro referidos grupos, bem como as doenças a que dão origem.

Quadro 4.2 - Agentes infecciosos potencialmente presentes em efluentes domésticos não tratados

(Fonte: adaptado de Crities e Tchobanoglous, 1998)

Organismo	Doença causada
<b>Bactérias</b>	
Escherichia coli (enterotóxica)	Gastroenterite
Salmonella typhi	Febre tifóide
Salmonella paratyphi	Febre paratifóide
Salmonella (2100 serotipos)	Salmonelose
Shigella (4 spp.)	Sigelose (desintéria)
Vibrio cholerae	Cólera
Legionella pneumophila	Doença do legionário (pneumonia)
<b>Protozoários</b>	
Balantidium coli	Diarreia e úlcera de cólon
Cryptosporidium parvum	Criptosporidiose
Giardia lamblia	Giardiase (gastroenterite)
<b>Vírus</b>	
Enterovirus (72 tipos, p.e. polio, eco e coxsackie virus)	Gastroenterite, anmalias do coração, meningite
Hepatite A	Leptospirose
Rotavirus	Febre paratifóide
<b>Helmintas</b>	
Ascaris kumbricoides	Ascariidase
T. solium	Teníase

## 4.2 Microrganismos indicadores

Por forma a avaliar a probabilidade da presença de microrganismos patogénicos na água e a eficiência das operações/processos de tratamento, são utilizados organismos indicadores. A sua utilização decorre das dificuldades em se isolarem e identificarem microrganismos patogénicos. No entanto, não existem organismos indicadores ideais. Em águas residuais, os indicadores mais comumente utilizados como indicadores de poluição de origem fecal são o grupo de microrganismos designados por coliformes totais (CT) e fecais (CF), membros da família *Enterobacteriaceae*. No quadro 4.3 apresenta-se a caracterização microbiológica em termos de CT e de CF associada a diferentes tipos de efluentes.

Quadro 4.3 - NMP em diferentes tipos de efluentes

(Fonte: Adaptado White, 1999)

Efluente	CT (NMP/100 mL)	CF (NMP/100 mL)
Água residual bruta	$10^7 - 10^9$	$10^6 - 10^8$
Efluente primário	$10^7 - 10^9$	$10^6 - 10^8$
Efluente secundário	$10^5 - 10^7$	$10^4 - 10^6$
Efluente secundário filtrado	$10^4 - 10^6$	$10^3 - 10^5$

As bactérias coliformes são um grupo de organismos que podem ser encontrados no solo, nas águas naturais e residuais domésticas e no intestino do homem e de outros animais de sangue quente, sendo que, as bactérias coliformes totais incluem as espécies fecais e as ambientais. Os coliformes fecais (ou termotolerantes) constituem um subgrupo das bactérias coliformes totais. A razão pela qual são utilizados estes microrganismos como indicadores de

contaminação microbiológica deve-se ao facto de facultarem uma melhor correspondência entre poluição fecal e impactos na saúde em águas de recreio (APDA, 2012).

Os métodos de determinação dos microrganismos indicadores são o número mais provável (NMP) e a membrana filtrante, de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto. O NMP representa uma estimativa da densidade de organismos presentes na amostra e é efetuado a partir da técnica da fermentação em tubos múltiplos. Esta técnica foi durante muitos anos utilizada como método de referência para a quantificação do grupo de microrganismos coliformes. Os resultados são expressos em NMP/ por 100 mL. A técnica da filtração em membranas tem vindo a ser cada vez mais utilizada para a avaliação da qualidade microbiológica da água, pelo facto de ser uma técnica mais rigorosa. Os resultados são expressos em Unidades Formadoras de Colónias por 100 ml de água (UFC/100 ml) (Ferreira & Sousa, 1998). No entanto, os resultados de ambas as técnicas são comparáveis..

### 4.3 Tecnologias de desinfeção

A desinfeção é uma operação/processo que tem por objetivo reduzir a quantidade de microrganismos patogénicos presentes nas águas residuais tratadas até um nível compatível com a sua descarga ou valorização, em condições de segurança para a saúde pública (Gross & Poe, 2004).

A desinfeção de águas residuais é obrigatória no que diz respeito à rejeição de efluentes em zonas sensíveis, nomeadamente, em zonas balneares (rios, lagos e zonas costeiras), zonas de produção de bivalves e reutilização de efluentes de forma a garantir a qualidade microbiológica destes e permitir os múltiplos usos por parte da população (Decreto-Lei n.º125/97, de 19 de Junho).

Existem inúmeras tecnologias de desinfeção que podem ser agrupadas em processos físicos, químicos e naturais e que se resumem no quadro 4.4

Quadro 4.4 - Processos de desinfeção de águas  
(Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

<b>Processos</b>	Físicos	Radiação Ultravioleta
		Radiação Gama
		Processos de membranas: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa
		Filtração
		Ultrassons
	Químicos	Cloragem
		Cloragem/Descloragem
		Ozonização
		Dióxido de Cloro
	Naturais	Lagoas de Maturação
Deposição no solo		

No entanto, nem todos eles são igualmente utilizados. É o caso dos processos térmicos, devido ao elevado custo do consumo de energia, dos ultrassons e radiação gama. Dos restantes, os processos atualmente mais comumente utilizadas no tratamento de águas residuais urbanas são a cloração e a radiação ultravioleta (Monte e Albuquerque, 2010).

#### 4.3.1 Desinfecção por cloro

A desinfecção com recurso ao cloro é a tecnologia mais comumente utilizada no Mundo inteiro e a mais viável sob o ponto de vista económico (Tchobanoglous et al., 2003), podendo ser utilizado em várias formas: cloro gasoso, dióxido de cloro ou através de seus derivados como hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio. A escolha do produto a utilizar é função da quantidade necessária de desinfetante, das condições existentes no local (por exemplo, espaço disponível e eletricidade), da facilidade de operação, das condições de segurança (armazenamento e manipulação) e do custo associado (instalação e exploração) (Seyer, 1994).

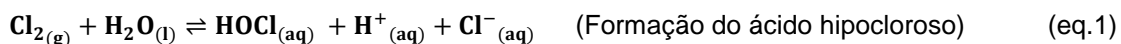
No âmbito da desinfecção de águas residuais urbanas, as formas de cloro comumente utilizadas são o cloro gasoso e o hipoclorito de sódio devido a fatores como a disponibilidade e o custo reduzido (Gross & Poe, 2004).

A inativação dos microrganismos patogénicos por cloração é devida às lesões que o cloro produz nas paredes das membranas celulares (Pereira, 2007).

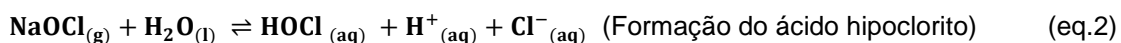
##### 4.3.1.1 Reações do cloro na água

As reações do cloro com compostos orgânicos e inorgânicos, tais como cianetos, sulfuretos, sulfitos, íons de ferro e nitrato, apesar de serem rápidas, necessitam, em geral, de algumas horas para que a maioria das reações do cloro compostos orgânicos se completem.

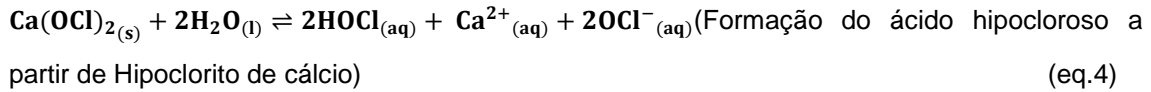
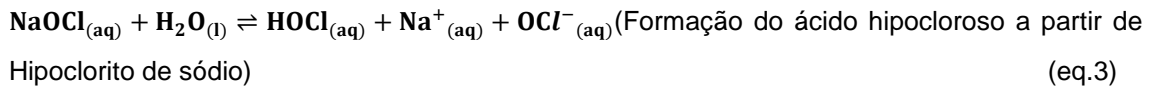
O cloro quando é adicionado a água pura hidrolisa-se rapidamente originando o ácido hipocloroso (HOCl), de acordo com a seguinte equação química (equação 1):



O ácido hipocloroso é um ácido fraco ( $\text{pK}_a \approx 5,7$ ) que se dissocia rapidamente originando o ião hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) e o ião hidrogénio (equação 2)



O cloro também pode ser doseado na água sob a forma de hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) ou de hipoclorito de sódio (NaOCl) que em solução aquosa se dissocia originando ião hipoclorito (equações (3) a (4)).



As concentrações de HOCl e OCl presentes na água são denominadas de cloro residual livre e são utilizadas para avaliar a eficiência da desinfecção, visto serem mais eficientes do que o cloro combinado na forma de cloraminas. A distribuição relativa do HOCl e OCl é importante na desinfecção uma vez que o poder desinfetante do HOCl é cerca de 100 vezes superior que o OCl, razão pela qual é denominado de cloro ativo (IRAR, 2007 & Qasim, 1999). Esta diferença deve-se à maior capacidade de penetração nas células microbianas que o HOCl possui em relação ao OCl devido ao seu baixo peso molecular e à sua carga neutra (Pereira, 2007). A figura 4.1 apresenta a variação das diferentes substâncias em função do pH e temperatura da água.

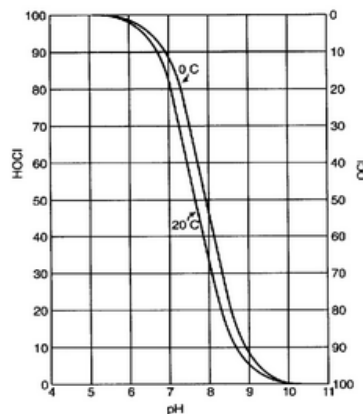
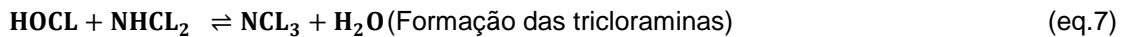
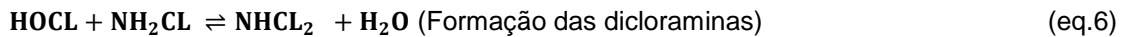
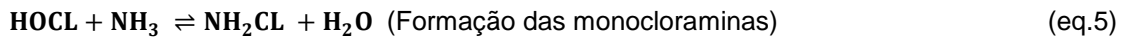


Figura 4.1 - Distribuição do ácido hipocloroso e íon hipoclorito em água, em diferentes valores de pH e temperatura  
(Fonte: Lourenço, 2009)

A desinfecção com cloro tem uma forte dependência do pH. Em solução aquosa e pH inferior a 6, a dissociação do ácido é muito fraca, sendo predominante a forma não dissociada (HOCl). Para valores de pH entre 6 e 9, a dissociação do ácido é incompleta coexistindo na água o ácido hipocloroso e o íon hipoclorito e para valores de pH acima de 8.5, a dissociação é praticamente completa predominando OCl na solução, que é muito menos eficaz que o HOCl.

O cloro residual livre combina-se a amônia presente na água, originando cloraminas. O cloro na água sob a forma de cloraminas é designado por cloro residual combinado. O cloro sob a forma de ácido hipocloroso reage com os compostos azotados formando as monocloraminas ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloraminas ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloraminas ( $\text{NCl}_3$ ) (equações (5) a (7)).



As cloraminas relativamente ao cloro residual livre possuem potenciais de oxidação mais baixos e não reagem com compostos orgânicos precursores de compostos organoclorados, o que lhes confere uma certa estabilidade.

Quando o cloro é adicionado à água, este é imediatamente consumido pela oxidação da matéria orgânica e inorgânica. Enquanto estes compostos não forem totalmente destruídos, a desinfecção não ocorrerá e a concentração de cloro residual será nula (carência de cloro). Seguidamente, o cloro combina-se com a amónia produzindo cloro residual combinado (cloraminas), até atingir um valor máximo. Uma vez atingido o valor máximo, a concentração de cloro residual combinado diminui com a quantidade de cloro aplicada. O ponto de inflexão é atingido depois da destruição das cloraminas e coincide com a relação mássica  $\text{Cl}_2/\text{NH}_3$  de 7,6:1 (7,6 mg  $\text{Cl}_2$ /mg N- $\text{NH}_4$ ). Este é denominado por *breakpoint* do cloro. A partir deste ponto, dá-se a formação de residual de cloro a uma velocidade igual àquela que o cloro é doseado.

A dosagem de cloro a ser utilizada depende dos objetivos de tratamento pretendidos, em função da legislação em vigor. A desinfecção da água residual urbana considera-se assegurada quando se obtém um residual de cloro de 0,5 mg/L, após 20-30 minutos de tempo de contato (IRAR, 2007). O número de coliformes totais que permanecem em efluentes primários e secundários a diferentes concentrações de cloro residual é apresentado no quadro 4.5.

Quadro 4.5 - Coliformes totais remanescente em efluentes primário e secundário

(Fonte: Qasim, 1999)

Cloro residual total (mg/L)	Coliformes totais (NMP/100 ml)	
	Efluente primário	Efluente secundário
0.5 – 1.5	24.000 – 400.000	1.000 – 12.000
1.5 – 2.5	6.000 – 24.000	200 – 1.000
2.5 – 3.5	2.000 – 6.000	60 – 200
3.5 – 4.5	1.000 – 2.000	30 – 60

Os resultados apresentados no quadro 4.5 foram obtidos após 30 minutos de tempo de contato e considerando que o efluente primário continha  $35 \times 10^6$  e o efluente secundário  $1 \times 10^6$  coliformes totais por 100 mL de amostras (Qasim, 1999).

#### 4.3.2 Estabilidade e durabilidade do hipoclorito de sódio

O hipoclorito de sódio é um produto instável, deste modo a concentração de cloro ativo tende a diminuir ao longo do tempo. No entanto, taxa de decaimento de cloro pode ser controlada. A estabilidade da solução de hipoclorito de sódio depende dos seguintes fatores:

- Soluções de hipoclorito com baixa concentração de cloro ativo tendem a decompor-se mais lentamente, conforme é ilustrado na Figura 4.2. Uma solução de 16,0% de cloro ativo armazenada a 26,7 °C perde 10% da sua concentração em 10 dias, 20% em 25 dias e 30% em 43 dias (Metcalf & Eddy, 2003);
- A radiação solar acelera a decomposição da solução desinfetante, pelo que é aconselhável, durante o seu transporte e armazenamento, a utilização de recipientes opacos;
- A presença de óxidos e sais metálicos no efluente a desinfetar influencia negativamente a estabilidade do desinfetante, uma vez que possuem um elevado poder catalítico na decomposição do cloro. Compostos solúveis como nitratos e cloretos influenciam igualmente a estabilidade do mesmo.

A consequência imediata da decomposição da solução de hipoclorito de sódio é a redução do seu teor ativo. A decomposição do hipoclorito de sódio com o tempo vai influenciar o caudal e a taxa de doseamento. Os produtos de decomposição são inofensivos, sendo constituídos por cloreto de sódio. A reação seguinte ilustra a decomposição do hipoclorito de sódio (equação 8):



### 4.3.3 Aspetos associados ao manuseamento do hipoclorito de sódio

O hipoclorito de sódio é um oxidante forte e corrosivo, susceptível de causar danos à saúde humana tais como queimaduras na pele e lesões oculares graves sendo indispensável o uso de luvas e óculos protetores quando o seu manuseamento. Apresenta pH aproximadamente de 12, o que obriga a adoção de medidas aconselhadas para o manuseamento de materiais corrosivos, tais como evitar o contacto com metais, incluindo aço inoxidável.

No que diz respeito aos reservatórios de armazenamento de hipoclorito de sódio, estes devem dispor de estruturas para contenção de derrames, com capacidade de retenção ligeiramente superior ao conteúdo dos mesmos. Devem ainda ser separados de outras áreas de contenção com produtos químicos incompatíveis. Além disso, os contentores devem estar devidamente identificados com a designação do produto que contêm e a sinalização de segurança.

As medidas de controlo de exposição e proteção individual indicam que se deve dispor de vestuário quimicamente resistente e de equipamento de respiração autónoma de pressão positiva prontos a usar em caso de necessidade. É igualmente recomendável proteger os olhos, o rosto e a pele de projeções do líquido (Alves, 2005).

As instalações do sistema de cloragem devem ser objeto de uma atenção permanente por parte dos operadores. Se possível, deve ser efetuada uma visita diária às instalações para verificar o normal funcionamento do equipamento instalado, bem como o consumo dos

reagentes (por exemplo, nível da solução de hipoclorito de sódio na cuba). Para evitar paragens inesperadas do sistema de desinfecção, deve ser realizada uma manutenção preventiva de todas as componentes do sistema e garantida a existência de peças de reserva.

Devem existir procedimentos escritos para as ações de rotina e, ou suscetíveis de alterar a qualidade da água a tratar (por exemplo, receção, armazenamento e manuseamento do produto; preparação da solução de desinfetante), os quais devem ser revistos sempre que necessário.

Todas as ações desenvolvidas, bem como leituras efetuadas devem ser registadas, no âmbito dos procedimentos de rotina (por exemplo, verificação do normal funcionamento do sistema, ações de manutenção, caudal de água a desinfetar, caudal de desinfetante doseado, concentração da solução de desinfetante e teores de cloro residual livre no efluente).

#### **4.3.3.1 Fatores que afetam a eficiência da desinfecção por cloro**

O processo de cloração é influenciado por um conjunto de fatores, entre os quais, concentração do agente desinfetante a dosear, o tempo de contacto, características físico-químicas da água a desinfetar, nomeadamente temperatura e pH, tipo e concentração dos microrganismos a inativar e forma como o cloro se apresenta (US EPA, 2011).

- a) Concentração do desinfetante a dosear - a concentração de cloro necessária dosear deve ser estabelecida em função da resistência dos microrganismos que se pretendem eliminar. Quanto maior for a concentração, mais efetiva será a sua ação.

Parâmetros físico-químicos das águas residuais urbanas como as concentrações de carência bioquímica de oxigénio (CBO) e de sólidos suspensos totais (SST) são suscetíveis de interferir com a eficiência do cloro durante a desinfecção. Quando adicionado ao efluente, parte do cloro é utilizado na oxidação de matéria orgânica, afetando negativamente a sua eficácia uma vez que o desinfetante não fica totalmente indisponível para a inativação bacteriológica. Por outro lado, a concentração de SST presente no efluente pode igualmente comprometer a eficácia do processo de cloração, através da limitação do contacto do desinfetante com os microrganismos (Gross & Poe, 2004). A figura 4.2 ilustra a típica curva de desinfecção que se obtém em águas residuais contendo compostos oxidáveis e sólidos suspensos.

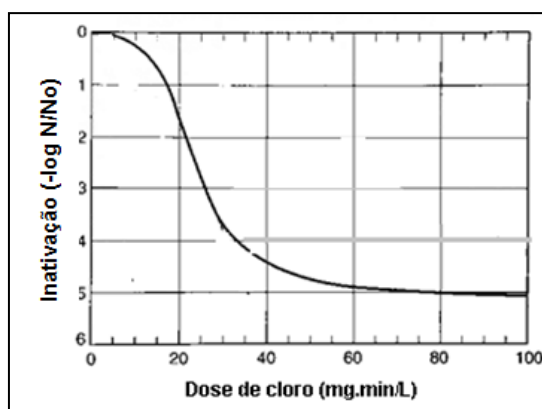


Figura 4.2 - Curva típica de desinfecção em águas residuais constituídas por compostos oxidáveis e sólidos suspensos

(Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

- b) Tempo de contacto - uma desinfecção eficaz exige um tempo de contacto mínimo de 30 minutos; De acordo com Costa (2007), o tempo de contato bem como a concentração do agente desinfetante são muito importantes no processo de desinfecção. Quando os tempos de contacto são elevados, as concentrações de desinfetante reduzem-se. Já para tempos de contacto reduzidos, são necessárias concentrações elevadas, para se atingir uma desinfecção equivalente.

Por forma a avaliar se o cloro satisfaz as necessidades de desinfecção do tratamento de águas residuais, é necessário compreender as vantagens e desvantagens associadas a este reagente. No Quadro 4.6 comparam-se as vantagens e as desvantagens da desinfecção por cloragem.

Quadro 4.6 - Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por cloragem

(Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

Vantagens	Desvantagens
Desinfetante eficiente.	Introduz sólidos dissolvidos no efluente tratado.
Garante teor residual de cloro passível de ser monitorizado e que permanece no tempo	Formação de subprodutos perigosos da desinfecção.
Disponível em grandes quantidades.	Exige a manipulação de produtos químicos que podem constituir uma ameaça para os trabalhadores e público. Necessidade de implementação de medidas de segurança.
Método economicamente acessível	Libertação de compostos orgânicos voláteis. Tempo de contacto com água relativamente longo (20-30 minutos)

#### 4.3.3.2 Formação de subprodutos

Um aspeto relevante que condiciona a escolha de um desinfetante é a eventual formação de subprodutos de desinfecção (SPD). Os SPD eram primeiramente reconhecidos como um

problema nas estações de tratamento de águas para abastecimento público, no entanto, esse problema tem vindo a ser ampliado nas ETAR.

A grande reatividade do cloro e a sua grande eficácia em termos de desinfeção potenciam a formação de organoclorados que são o resultado de reações químicas entre os compostos com cloro utilizados na desinfeção, e os chamados “precursores” de trihalometanos (THM) eventualmente existentes nas águas a tratar, particularmente os ácidos húmicos e fúlvicos (Alegria *et al*, 1998). Como as águas residuais urbanas contêm uma quantidade significativa de compostos orgânicos que podem contribuir para a formação de THM após a utilização de cloro como desinfetante, é necessário que haja um controlo relativamente a esta contaminação (Taylor *et al.*, 2013)

Os dois principais grupos dos subprodutos de desinfeção do cloro são os trihalometanos (THM) e os ácidos haloacéticos (AHA). No grupo dos THM incluem-se quatro espécies: clorofórmio, bromodichlorometano, dibromodichlorometano e bromofórmio. No grupo dos AHA há um total de nove espécies contendo cloro e/ou bromo: monochloro-, dichloro-, e ácido trichloroacético (AMCA, ADCA e ATCA); bromo-, dibromo-, e ácido tribromoacético (AMBA, ADBA e ATBA); bromochloro-, bromodichloro-, e ácido dibromodichloroacético (ABCA, ABDCA e ADBCA) (IRAR, 2007).

As concentrações e distribuição de THM e AHA não são iguais para todas as águas residuais urbanas. Um estudo, feito por Yang *et al.* (2005) mostrou que apesar das diferenças, existem aspectos comuns à formação de THM e AHA. A formação de THM e AHA aumentou significativamente após a adição de cloro ligeiramente acima do *breakpoint*. A presença de brometo na água residual urbana também tem uma grande influência na formação e distribuição de THM e AHA.

É importante saber qual é a melhor dose de cloro a adicionar na água residual urbana, pois vários estudos demonstram que a sua quantidade está intimamente ligada à concentração de THM formados. De acordo com os resultados obtidos por Taylor *et al.* (2013), quanto maior for a quantidade de cloro adicionada na desinfeção maior será a formação de THM. Assim, para uma desinfeção otimizada, será necessário o recurso a uma dose mínima de cloro, que permita garantir a eficiência de desinfeção desejada sem ocorrer formação de THM.

#### **4.3.4 Desinfeção por radiação ultravioleta**

A radiação UV é a radiação eletromagnética de comprimento de onda compreendido em quatro sub-intervalos como se indica na Figura 4.3, o UV Vácuo (100 nm a 200 nm), UV-C (200 nm a 280 nm), UV- B (280 nm a 315 nm) e UV-A (315 nm a 400 nm) (Gaspar, 2012).

A desinfecção com radiação ultravioleta (UV) consiste em submeter as águas residuais a desinfetar a uma radiação UV artificialmente emitida através de lâmpadas. Uma dose apropriada de radiação UV provoca uma inativação irreversível dos microrganismos sem outro efeito significativo nas águas residuais (Hidroprojecto, 2011).

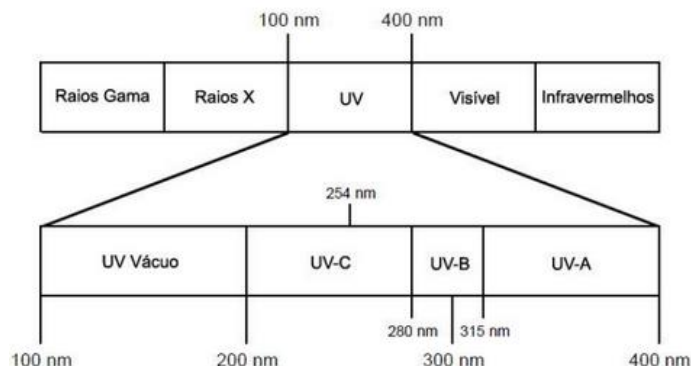


Figura 4.3 - Banda de UV germicida no espectro da radiação eletromagnética  
(Fonte: Gaspar, 2012)

A inativação dos microrganismos ocorre quando a radiação ultravioleta penetra na sua parede celular sendo absorvida pelas proteínas e material genético das células, afetando a sua capacidade de reprodução. A faixa de comprimento de onda onde ocorre a maior inativação de microrganismos patogénicos situa-se entre os 220 e 400 nm. Este mecanismo de inativação atinge a generalidade dos microrganismos patogénicos – bactérias, vírus e protozoários, mas é menos eficaz para os ovos de helminthes que possuem elevada resistência à penetração da radiação UV. A dimensão dos danos provocados depende da dose de radiação absorvida pelos microrganismos e da resistência do mesmo à radiação.

No entanto, alguns microrganismos que sobrevivem à exposição da radiação UV, embora fiquem inativos, apresentam a capacidade de regenerar o seu ADN danificado, quando expostos a radiação visível de 330–500 nm, num processo conhecido como foto-reativação, em que o agente principal é uma enzima denominada fotoliase. Outros microrganismos conseguem o mesmo efeito na ausência de luz através de um mecanismo de reparação que utiliza moléculas proteicas designado de reativação no escuro (Monte & Albuquerque, 2010). Estes mecanismos de recuperação dos microrganismos podem ser evitados pela aplicação de uma dose maior de radiação UV que minimize a possibilidade de reparação dos danos sofridos pelo material genético.

A instalação de uma operação de desinfecção por radiação ultravioleta é concebida considerando de forma integrada: o tipo e configuração de lâmpadas (lâmpadas de arco de mercúrio de baixa pressão ou de média pressão, imersas nas águas residuais), o seu balastro e o tipo de reator (escoamento por gravidade em canal aberto ou reatores fechados). No quadro 4.7 é apresentado um resumo das principais características das lâmpadas de UV utilizadas na desinfecção de águas residuais urbanas

Quadro 4.7 - Características das lâmpadas UV utilizadas na desinfecção de águas residuais

(Fonte: Adaptado de USEPA, 2003; Metcalf & Eddy, 2003)

Parâmetro		Tipo de Lâmpada		
		Baixa Pressão Baixa Intensidade	Baixa Pressão Alta Intensidade	Média Pressão Alta Intensidade
Radiação emitida	-	Monocromática	Monocromática	Policromática
Pressão de vapor de mercúrio	mmHg	0,007	0,001-0.01	10 <sup>2</sup> a 10 <sup>4</sup>
Temperatura	°C	40	130-200	600-900
Consumo elétrico	W/cm	0.5	1.5-10	50-250
Produção de UV germicida	W/cm	0.2	0.5-3.5	5-30
Eficiência	%	35-38	30-40	10-20
Comprimento do arco	Cm	10-150	10-150	5-120
Nº de lâmpadas necessário	-	Elevado	Intermédio	Baixo
Tempo de vida útil	H	8.000-10.000	8.000-12.000	4.000-8.000
Comprimento	cm	10-150	10-150	5-120
Diâmetro	cm	1,5-2,0	Variável	Variável

#### 4.3.4.1 Fatores que afetam a eficiência da desinfecção por UV

Na desinfecção de águas residuais urbanas, a efetividade do processo por radiação UV, depende dos seguintes fatores (Gross & Poe, 2004; Monte & Albuquerque, 2010):

- a) Tempo de contato – este não deve ser demasiado baixo, para que a dose efetivamente transmitida à água residual através da radiação seja eficaz na redução dos microrganismos patogénicos no tempo estipulado em projeto, contribuindo para a aplicação da dose coerente com o caudal a tratar;
- b) Qualidade da água residual tratada – a presença de sólidos suspensos na água compromete a remoção de patogénicos por radiação UV, pois além de dispersarem a radiação incidente, ocultam os microrganismos da radiação, o que influencia negativamente o processo de desinfecção. Quanto mais clarificado for o efluente a desinfetar, melhor será o seu desempenho de desinfecção.
- c) Comportamento hidrodinâmico do reator – o escoamento hidráulico do reator deve ser o mais próximo possível do fluxo pistão, com mistura axial suficiente para maximizar a exposição da massa líquida à radiação UV;
- d) Tipo de manutenção efetuada ao sistema – a deposição de precipitados e de sujidade sobre a superfície exterior das lâmpadas diminui a quantidade de radiação UV que incide sobre a água a desinfetar, pelo que a limpeza externa das lâmpadas é um fator fundamental na eficiência da desinfecção.

No Quadro 4.8 resumem-se as principais vantagens e desvantagens da desinfecção com radiação UV.

Quadro 4.8 – Vantagens e desvantagens da desinfecção de águas residuais tratadas por radiação UV

(Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Não existe formação de compostos organoclorados	Eficiência da desinfecção depende muito das características de qualidade da água
Não provoca alterações na composição química da água	Necessidade de realização de um programa de manutenção preventiva, para mandar as lâmpadas limpas (controlar as incrustações)
Muito eficiente na inativação de bactérias e protozoários como <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>	Baixas dosagens podem comprometer a inativação de alguns vírus, esporos e cistos
Menos tempo de contacto com a água (20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão)	Possibilidade de foto reativação (recuperação de microrganismos na ausência de luz)
Facilidade de operação e manutenção	Custos de exploração elevados (custos de energia)
Requer pouco espaço.	

#### 4.3.5 Aplicação das tecnologias de desinfecção

A escolha da tecnologia de desinfecção a adotar decorre em grande parte das características do efluente que se pretende tratar. Nos quadros 4.9 e 4.10 encontram-se resumidos os impactos que cada parâmetro de qualidade tem em cada uma das tecnologias de desinfecção utilizadas mais frequentemente.

Quadro 4.9 – Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem e UV (1/2)

(Fonte: de Monte, H. & Albuquerque, 2010)

<b>Parâmetro</b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>UV</b>
CBO, CQO e COT	Afeta a carência de cloro. A interferência depende dos grupos funcionais e da estrutura química	Nenhum impacto ou pouco significativo, a não ser que o material húmico represente um grande parte do CBO
Material húmido	Reduz a eficácia por formar compostos orgânicos clorados, medidos em CL <sub>2</sub> residual mas não eficazes para a desinfecção	Grande absorvente de radiação UV
Óleos e gorduras	Pode reduzir a carência de cloro	Podem acumular-se nos tubos de quartzo das lâmpadas; podem absorver radiação UV
SST	Protegem as bactérias agregadas	Absorvem a radiação UV, podem proteger as bactérias agregadas
SDT	-	Podem fomentar a formação de precipitados
Alcalinidade	Nenhum impacto ou pouco significativo	Afecta a solubilidade dos metais que absorvem a luz UV
Dureza	Nenhum impacto ou pouco significativo.	Cálcio, magnésio e outros sais podem depositar-se nos tubos de quartzo, principalmente a temperaturas elevadas
Amónia	Combina-se com o cloro, formando cloraminas, aumentando a carência de cloro	Nenhum impacto ou pouco significativo

Quadro 4.10 - Impacte das características da qualidade do efluente na Cloragem e UV (2/2)

(Fonte: de Monte, H.& Albuquerque, 2010)

Parâmetro	Cl <sub>2</sub>	UV
Nitratos	Na presença de nitratos, as cloraminas não se formam. Assim a nitrificação parcial pode levar a que ocorram dificuldades na escolha da dose indicada (e a nitrificação total pode levar à formação de N-Nitrosodimetilamina)	Nenhum impacto ou pouco significativo
Nitritos	Oxidados pelo cloro, formam NDMA (N-Nitrosodimetilamina)	Nenhum impacto ou pouco significativo
Ferro	Oxidado pelo cloro	Grande absorvente de radiação UV, pode precipitar nos tubos de quartzo bem como pode absorver os SS e encobrir as bactérias por absorção
Manganês	Oxidado pelo cloro	Grande absorvente de radiação UV
pH	Afeta a formação de ácido hipocloroso e do ião hipoclorito	Pode afetar a solubilidade dos metais e dos carbonatos

#### 4.4 Fatores a considerar na seleção do processo de desinfecção

Os fatores que influenciam a desinfecção e, portanto, o tipo de tratamento a ser incluído:

- Espécie e concentração do organismo a ser destruído;
- Espécie e concentração do desinfetante;
- Tempo de contacto;
- Temperatura
- Características da água a tratar;
- Grau de dispersão do desinfetante na água.

A influência dos fatores tempo de contacto, dose/concentração do desinfetante na eficiência do processo é relevante. Quanto maior a concentração do desinfetante e o tempo de contacto e menores o número de microrganismos e o teor de sólidos suspensos na água, mais efetiva será a desinfecção (Lapolli *et al*, 2005).

A eficiência de um processo de desinfecção está relacionado com o tipo de patogénicos que se pretende remover, tais como, bactérias, vírus, protozoários ou ovos de helmintas, uma vez que os processos de desinfecção não inativam qualquer tipo de patogénico com a mesma eficiência. Relativamente à eficiência do poder desinfetante do cloro e radiação UV, Metcalf & Eddy (2003) propõe, a título de referência, as doses indicadas no quadro 4., para efluentes secundários.

Quadro 4.11 - Dose de desinfetante a utilizar para vários níveis de inativação de bactérias, vírus e protozoários num efluente secundário filtrado

(Fonte: Metcalf & Eddy, 2003)

Desinfetante	Unidade	Inativação			
		1-log	2-log	3-log	4-log
<b>Bactérias</b>					
Cloro Livre	mg.min/L	0,1-0,2	0,4-0,8	1,5-3	10-12
Radiação UV	mJ/cm <sup>2</sup>	---	30-60	60-80	80-100
<b>Vírus</b>					
Cloro Livre	mg.min/L	---	2,5-3,5	4-5	6-7
Radiação UV	mJ/cm <sup>2</sup>	---	20-30	50-60	70-90
<b>Protozoários</b>					
Cloro Livre	mg.min/L	20-30	35-45	70-80	---
Radiação UV	mJ/cm <sup>2</sup>	5-10	10-15	15-25	---

Uma possível consequência da baixa eficiência da desinfecção pode consistir na posterior multiplicação dos microrganismos patogénicos, quer pela recuperação de microrganismos parcialmente afetados pelo agente desinfetante, quer por encontrarem condições favoráveis à sua multiplicação, por exemplo, em biofilmes formados nas paredes de condutas e reservatórios (Monte & Albuquerque 2010).

O processo de escolha do desinfetante tem como objetivos obter a máxima eficiência e fiabilidade na desinfecção com menor custo e mínimos efeitos indesejáveis sobre o efluente a tratar e meio recetor. Consequentemente, durante a desinfecção, o ideal seria utilizar a menor concentração de reagente químico capaz de promover a inativação dos microrganismos indesejados, de forma a libertar menores concentrações de residual e formar menores quantidades de subprodutos (US EPA, 1999).

A seleção do processo de desinfecção a adotar é um processo importante que deve atender aos seguintes fatores:

- Estar disponível;
- Ser tóxico para os microrganismos e não para o Homem, ou qualquer outro ser vivo;
- Apresentar uma composição homogénea e ser suficiente solúvel em água;
- Ser eficaz para as condições de temperatura e pH do efluente;
- Não deve reagir com a matéria orgânica;
- Não deve ser corrosivo nem instável;
- Não deve apresentar riscos elevados de transporte, armazenamento, manuseamento e utilização (Gross & Poe, 2004).

Tomando como critérios de comparação técnico-económica dos processos mais correntes de desinfecção de águas residuais tratadas os fatores a considerar na seleção do processos como eficiência do processo na inativação dos microrganismos patogénicos e a sua fiabilidade, risco do agente de desinfecção para seres humanos e animais, disponibilidade no mercado e custo,

facilidade de transporte e de armazenamento, operacionalidade e impactes ambientais, conclui-se que nenhum dos processos de desinfecção é completamente satisfatório (EU, 2006).

A cloragem apresenta a desvantagem da possibilidade de formação de compostos potencialmente cancerígenos, mas é de aplicação vantajosa nos casos em que é necessário prevenir contaminações posteriores à desinfecção. Por outro lado, a desinfecção por radiação UV apresenta custos de operação e manutenção elevados, devido ao consumo energético e de substituição de lâmpadas sendo igualmente difícil garantir a desinfecção do efluente tratado, quando este apresenta uma variação quantitativa/qualitativa bastante significativa (Monte & Albuquerque, 2010). No quadro 4.12 é apresentada uma comparação técnica-económica entre a cloragem e a radiação UV.

Quadro 4.12 – Comparação de critérios técnico-económica de algumas tecnologias de desinfecção  
(Fonte: Adaptado Lazarova *et al*, 1999 e Spellman, 1999)

<b>Critério</b>	<b>Cloragem</b>	<b>Radiação UV</b>
Dimensão da estação de tratamento	Pequena, média e grande	Pequena a médio
Aplicação nos níveis de tratamento	Todos os níveis	Secundário
Fiabilidade	Boa	Média
Complexidade do processo	Simples a moderado	Simples a moderado
Segurança	Baixa	Elevada
Remoção de bactérias	Boa	Boa
Remoção de Vírus	Baixa	Baixa
Toxicidade no meio recetor	Tóxico	Não Tóxico
Formação de subprodutos	Sim	Não
Poder residual	Elevado	Nenhum
Tempo de contacto	Elevado	Pequeno
Reação com amónia	Sim	Não
Dependência com pH	Sim	Não
Corrosividade	Sim	Não
Custos operacionais	Baixos	Elevados
Custos de investimento	Baixos	Elevados

#### 4.5 Reutilização de águas residuais tratadas

O tratamento de águas residuais e a sua posterior valorização têm um papel cada vez mais importante ao nível da proteção ambiental. A criação de alternativas à descarga das águas residuais no meio recetor natural reduz a carga poluente sobre as massas de água superficiais e sobre os aquíferos, permitindo que os efluentes sejam utilizados como fonte de água para um uso específico (Marecos do Monte, 2008).

A reutilização é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim, com objectivos benéficos. Presentemente as águas residuais são utilizadas numa vasta categoria de aplicações, e a sua reutilização é usualmente feita após tratamento numa

ETAR. A reutilização de água residual pode dividir-se em sete categorias por ordem decrescente de aplicação (Urkiaga & Fuentes, 2004):

1. Irrigação agrícola - maior uso de água recuperada no mundo;
2. Irrigação de espaços verdes – parques, campos de golfe, áreas verdes ao redor de estruturas industriais, comerciais e residenciais;
3. Atividades industriais - água de arrefecimento, aquecimento e processamento;
4. Recarga de aquíferos subterrâneos – pode ser feita por duas vias, injeção direta no aquífero ou através de bacias de dispersão;
5. Usos recreativos e ambientais – é a quinta maior aplicação nos países industrializados;
6. Usos urbanos não-potáveis – proteção contra incêndios, descarga de autoclismo, sistemas de arrefecimento, entre outros;
7. Uso potável – direto ou indireto.

Em Portugal, o principal interesse de reutilização da água residual tratada é para a rega agrícola e paisagística, nomeadamente pomares, vinhas e campos de golfe (Marecos do Monte, 2008).

Esta utilização pode originar impactes negativos ou positivos dependendo do planeamento do projeto e da gestão que for praticada (WHO, 2006). A rega com águas residuais, caso não seja devidamente regulada, poderá representar riscos para a saúde pública, nomeadamente pela exposição potencial a microrganismos patogénicos, metais pesados, disruptores endócrinos e compostos farmacêuticos (Stagnitti et al, 1998). Geralmente, em utilizações onde existe um fácil acesso das pessoas ao local onde ocorre reutilização, as águas residuais têm de sofrer um grau elevado de tratamento, antes da sua utilização. Quando a exposição é improvável, um grau de tratamento inferior é usualmente aceite, desde que não seja posta em causa a segurança dos trabalhadores.

Os critérios de qualidade das águas residuais tratadas para rega estão definidos na legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto), referindo-se estes às características químicas, físicas e microbiológicas, bem como a sua adequação a cada tipo de cultura e ainda o processo e equipamento de rega utilizados. Assim, são definidos os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admissíveis (VMA) dos vários parâmetros em análise, que apresentam um maior risco ambiental (Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto). Estabeleceu-se ainda, outro conjunto de parâmetros que poderão ser limitantes para a utilização de uma água de rega como o pH, salinidade, teor de sólidos suspensos totais, presença de ovos de parasitas intestinais e coliformes fecais. O quadro 4.13 resume alguns desses critérios de qualidade de águas destinadas a rega de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98.

Quadro 4.13 - Qualidade das águas destinadas à rega  
(Fonte: adaptado Decreto de Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto)

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>VMR</b>	<b>VMA</b>
Salinidade	dS/m	1	---
pH	Escala de Sorensen	6.5-8.4	4,5-9,0
Cloretos	mg/L	70	---
Nitrato	mg/L	50	---
Sufatos	mg/L	575	---
SST	mg/L	60	---
Coliformes fecais	Unidades/100 ml	100	---
Ovos de parasitas intestinais	Unidades/L	---	1

Como referido anteriormente, a água residual urbana contém microrganismos que apresentam um risco potencial na reutilização de águas residuais para rega, nos quais se incluem as bactérias, vírus, protozoários e helmintas (Toze, 2006). Desta forma, a remoção de microrganismos é uma medida de extrema importância em qualquer processo de reutilização de águas residuais. Para que as águas residuais possam ser reutilizadas torna-se necessário submetê-las a um tratamento terciário, o que deverá garantir um efluente de elevada qualidade microbiológica. A operação de tratamento utilizado é a desinfecção. Esta etapa de tratamento exige alguma ponderação, devendo ser consideradas as vantagens e desvantagens associadas a cada opção de desinfecção.

## 5 CASOS DE ESTUDO

### 5.1 Apresentação da empresa

Em Maio de 2015, foi constituída pelo Decreto-Lei n.º 94/2015, de 29 de maio, a Águas de Lisboa e Vale do Tejo, S.A. mediante a agregação e conseqüente extinção das empresas Águas do Zêzere e Coa, Águas do Centro, Águas do Oeste, SIMTEJO, SANEST, SIMARSUL, Águas do Norte Alentejano, Águas do Centro Alentejo, integradas no Grupo Águas de Portugal.

A Águas de Lisboa e Vale do Tejo (AdLVT) surge com o processo de reorganização do setor de abastecimento de água e saneamento de águas residuais que visa assegurar maior equidade territorial e coesão social, diminuindo a disparidade tarifária resultante das especificidades dos diferentes sistemas e regiões do país, aumentar a eficiência dos sistemas de águas e águas residuais urbanas com redução dos custos associados, garantir a disponibilidade dos meios financeiros para o investimento e garantir a sustentabilidade económico-financeira das entidades gestoras com rigor e transparência na fixação das tarifas.

O presente trabalho foi desenvolvido em conjunto com a antiga SIMARSUL, uma vez que à data de início dos ensaios efetuados não vigorava o Decreto-Lei n.º 94/2015, de 29 de maio.

As ETAR que constituíram o caso de estudo da presente dissertação incluíram:

- Fernão Ferro, localizada no concelho do Seixal, freguesia de Fernão Ferro, e que se encontra em funcionamento desde 1993, tendo sido reabilitada em 2010. Está inserida no subsistema de Fernão Ferro que inclui, além desta infraestrutura, cerca de 10 km de emissários e condutas elevatórias e duas estações elevatórias;
- Seixal, localizada igualmente no concelho do Seixal, freguesia de Aldeia de Paio Pires. A ETAR está inserida no Subsistema do Seixal que inclui, além desta infraestrutura, cerca de 31 km de emissários e condutas elevatórias e sete estações elevatórias.

A solução de desinfecção atualmente em funcionamento nestas ETAR é a radiação ultravioleta. No entanto, os elevados custos de operação (eletricidade) e manutenção (consumíveis) que este tipo de desinfecção acarreta motivou a SIMARSUL a procurar alternativas, à semelhança do que aconteceu em outras ETAR, nomeadamente, na ETAR de Setúbal (Águas do Sado), em que foi implementada uma etapa alternativa de desinfecção do efluente tratado através do doseamento de hipoclorito de sódio.

Importa no entanto referir, que a SIMARSUL assegurou sempre o cumprimento da legislação em vigor, apesar das dificuldades que a operação do sistema de desinfecção por UV coloca, com a agravante de que as estações em questão não estão a operar com os caudais máximos que poderão afluir no futuro, pelo que o risco de incumprimento poderá aumentar. Deste modo,

procurou-se avaliar a possibilidade de desinfecção através do doseamento de hipoclorito de sódio, minimizando eventuais obras de construção civil.

## **5.2 Descrição das ETAR em estudo**

### **5.2.1 ETAR de Fernão Ferro**

#### **5.2.1.1 Caracterização do sistema de tratamento**

A ETAR de Fernão Ferro (figura 5.1) tem capacidade para efetuar o tratamento de 5.890 m<sup>3</sup>/dia de águas residuais urbanas, correspondentes a cerca de 32.700 habitantes equivalentes. O tratamento da fase líquida é constituído por duas linhas que funcionam em paralelo, cuja sequência de tratamento se apresenta na figura 5.2.



Figura 5.1 - Vista aérea da ETAR de Fernão Ferro  
(Fonte: SIMARSUL, 2015)

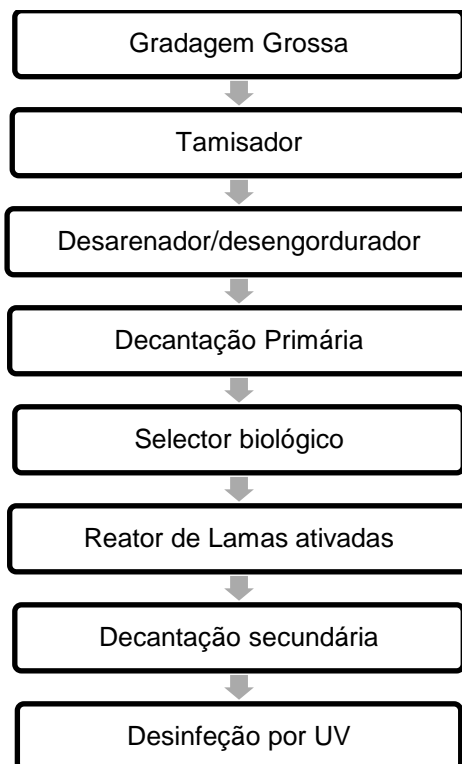


Figura 5.2 – Sequência de tratamento da ETAR de Fernão Ferro  
(Fonte: SIMARSUL, 2015)

### 5.2.1.2 Caracterização quantitativa e qualitativa do afluente

No quadro seguinte são apresentadas as características da água residual bruta que serviram de base para o dimensionamento da instalação, em termos de caudais e cargas poluentes.

Quadro 5.1 – Características do afluente da ETAR de Fernão Ferro, para efeitos de dimensionamento  
(Fonte: Memória descritiva da ETAR de Fernão Ferro, 2006)

	Tipo	Unidade	Ano inicial	Ano Horizonte
Caudais	Médio	m <sup>3</sup> /dia	2500	5890
	Ponta tempo seco	m <sup>3</sup> /hora	192	453
	Ponta em tempo chuvoso	m <sup>3</sup> /hora	330	760
Cargas	CBO <sub>5</sub>	kg/dia	970	1970
		mg/L	388	334
	CQO	kg/dia	2420	4905
		mg/L	968	833
	SST	kg/dia	1450	2950
		mg/L	580	500

Considera-se que o ano horizonte é 2034. Relativamente aos coliformes totais, é considerado que a concentração no afluente à ETAR era de 10<sup>10</sup> NMP/100 mL (Memória descritiva da ETAR de Fernão Ferro, 2006).

De acordo com a informação disponibilizada pela SIMARSUL, durante o ano 2015 foi tratado um caudal médio de 1.100 m<sup>3</sup>/dia, ou seja, menos de metade do caudal médio previsto para o

ano zero. No quadro 5.2 apresentam-se as características quantitativas e qualitativas atuais do afluente da ETAR de Fernão Ferro.

Quadro 5.2 - Características quantitativas e qualitativas médias atuais do afluente da ETAR de Fernão Ferro  
(Fonte: SIMARSUL)

Parâmetro	Unidades	Concentração
Caudal médio	m <sup>3</sup> /dia	1100
CBO <sub>5</sub>	mg/L	150
CQO	mg/L	322
SST	mg/L	119
Coliformes fecais	NMP/100 ml	<2000

### 5.2.1.3 Exigências de qualidade do efluente

O efluente tratado na ETAR de Fernão Ferro é descarregado no rio Judeu que afluí à baía do Seixal, classificada como zona sensível pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, pelo que o nível de tratamento tem de estar de acordo com o disposto naquele diploma legal, nomeadamente no que respeita à qualidade bacteriológica do efluente final. No quadro 5.3 resumem-se os objetivos de qualidade para o efluente tratado.

Quadro 5.3 – Requisitos de qualidade do efluente tratado na ETAR de Fernão Ferro  
(Fonte: Memória descritiva da ETAR de Fernão Ferro, 2006)

Parâmetro	Unidades	Concentração
CBO <sub>5</sub> <sup>(a)</sup>	mg/L	25
CQO <sup>(a)</sup>	mg/L	125
SST	mg/L	35
Coliformes Fecais <sup>(b)</sup>	NMP/100 ml	1000

<sup>(a)</sup>Quadro n.º 1 da alínea B) do Anexo I do Decreto-Lei n.º 152/97, de 9 de Julho;

<sup>(b)</sup>Anexo IV do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto

### 5.2.1.4 Caracterização do sistema atual de desinfecção

A operação de desinfecção UV, é constituída por dois canais cada um deles equipado com dois módulos de lâmpadas UV de baixa pressão, alto rendimento e limpeza automática química mecânica. A conceção do sistema de desinfecção foi desenvolvida de forma a garantir um grau de desinfecção mínimo correspondente a uma qualidade de descarga com valores de coliformes fecais inferiores a 1000 NMP/100ml, ao caudal de ponta máximo de 760 m<sup>3</sup>/h e para uma concentração de SST máxima no efluente de 25 mg/L, correspondente a uma transmitância mínima de 60%.

A intensidade das lâmpadas pode ser regulada entre 55% e 100%. O sistema de limpeza é automático e consiste num anel de limpeza que percorre cada lâmpada e injeta um gel biodegradável de ácido cítrico ou fosfórico a 5% sendo totalmente recuperado. No quadro 5.4

resumem-se outras características operacionais das lâmpadas UV instaladas na ETAR de Fernão Ferro.

Quadro 5.4 - Características operacionais das lâmpadas da ETAR de Fernão Ferro  
(Fonte: SIMARSUL, 2015)

Parâmetro	Unidade	Valor
Tipo de sistema	-	GA56T6 Amalgama
Fornecedor	-	Trojan UV 3000 Plus
Número de canais	-	2
Número de módulos por canal	-	2
Número de lâmpadas por módulo	-	8
Número total de lâmpadas	-	32
Consumo de energia por lâmpada	W	250
Voltagem por lâmpada	V	230
Tempo de vida das lâmpadas	Horas	9000-12000
Tempo de vida do balastro	Ano	2
Periodicidade da substituição das lâmpadas	-	Elevada
Limpeza das lâmpadas	-	Automática

A água desinfetada é conduzida a um reservatório de armazenamento com cerca de 50 m<sup>3</sup> que serve de balanço à rede de água de serviço, evitando assim o consumo de água da rede pública de abastecimento. Um grupo hidropressor é responsável pelo transporte de água para os diversos locais.

Relativamente ao desempenho do sistema de desinfecção por UV, este tem levantado inúmeros problemas em consequência da variação das características da água residual tratada. No entanto, não existem evidências de incumprimento dos requisitos microbiológicos na ETAR em questão. Por forma assegurar o cumprimento da legislação em vigor, a operação de desinfecção funciona 24 horas por dia, o que implica um consumo energético elevado. Acrescem os custos de manutenção e consumíveis associados a este sistema de desinfecção, devido à necessidade de substituição anual de lâmpadas UV e balastos. De acordo com a informação disponibilizada, o preço de aquisição de lâmpadas UV é cerca 300 euros/unidade, e o dos balastos podem ser adquiridos por 1000 euros/unidade. Por outro lado, uma vez que a ETAR se encontra a operar com caudais significativamente inferiores aos caudais de projeto, o risco de incumprimento dos requisitos microbiológicos aumenta. Deste modo, a SIMARSUL procurou avaliar a possibilidade de alterar o processo de desinfecção por forma a reduzir os custos de exploração e garantir qualidade microbiológica do efluente final.

Na figura 5.3 apresenta-se o sistema de desinfecção instalado na ETAR de Fernão Ferro.



Figura 5.3 - Sistema de desinfecção instalado na ETAR de Fernão Ferro  
1-Sistema de controlo da desinfecção UV ; 2-Modulo de lâmpadas UV presente no canal

## 5.2.2 ETAR do Seixal

### 5.2.2.1 Caracterização do sistema de tratamento

A ETAR do Seixal (figura 5.4) tem capacidade para tratar cerca de 44.000 m<sup>3</sup>/dia de águas residuais urbanas, no ano horizonte, correspondendo a cerca de 156.000 habitantes equivalentes. Na figura 5.5 resume-se a sequência de operações e processos da linha e tratamento da fase sólida.



Figura 5.4 – Vista aérea da ETAR do Seixal  
(Fonte: SIMARSUL, 2015)

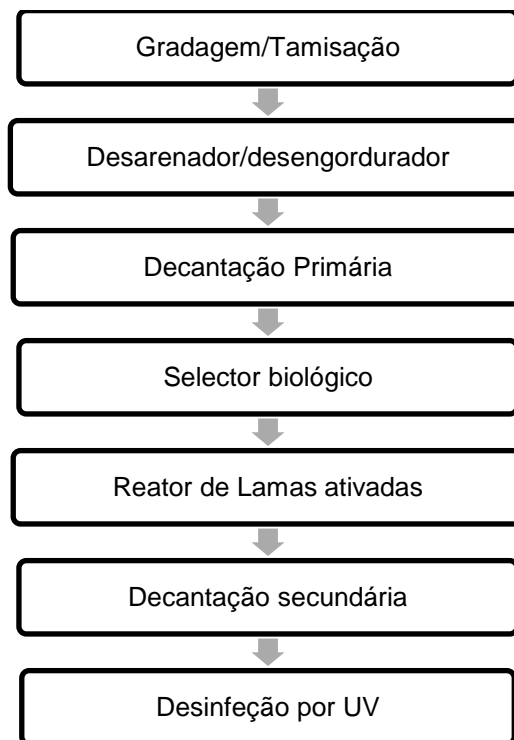


Figura 5.5 – Sequência de tratamento da ETAR do Seixal  
(Fonte: SIMARSUL, 2015)

A ETAR dispõe também de um sistema de reutilização de água de serviço, que inclui filtração, desinfecção, armazenamento e sistema de pressurização, que assegura o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas.

### 5.2.2.2 Caracterização quantitativa e qualitativa do afluente

Os quadros 5.5 e 5.6 resumem a informação existente na memória descritiva e justificativa relativo às características quantitativas e qualitativas da água residual bruta da ETAR do Seixal, para efeitos de dimensionamento.

Quadro 5.5 – Características do afluente da ETAR do Seixal para efeitos de dimensionamento (1/2)

(Fonte: Memória descritiva da ETAR do Seixal, 2007)

Caudais	Tipo		Unidade	Ano inicial	Ano Horizonte
	Médio	Época Baixa		m <sup>3</sup> /dia	25100
			m <sup>3</sup> /dia	26440	43850
Época Alta			m <sup>3</sup> /hora	1620	2660
			m <sup>3</sup> /hora	2200	3600
Cargas	CBO <sub>5</sub>	Época Baixa	kg/dia	5600	7940
			mg/L	223	189
		Época Alta	kg/dia	6810	9340
			mg/L	270	222
	CQO	Época Baixa	kg/dia	11200	15880
			mg/L	446	378
		Época Alta	kg/dia	13620	18680
			mg/L	542	444

Quadro 5.6 - Características do afluente da ETAR do Seixal para efeitos de dimensionamento (2/2)

(Fonte: Memória descritiva da ETAR do Seixal, 2007)

Cargas	Tipo		Unidade	Ano inicial	Ano Horizonte
	SST	Época Baixa		kg/dia	8410
			mg/L	335	283
Época Alta			kg/dia	10220	14000
			mg/L	407	283

De acordo com informação disponibilizada pela SIMARSUL, durante o ano 2015 foi tratado um caudal médio de 5.000 m<sup>3</sup>/dia, significativamente inferior caudal médio previsto para o ano zero. No quadro 5.7 apresentam-se as características quantitativas e qualitativas atuais do afluente da ETAR do Seixal.

Quadro 5.7 - Características quantitativas e qualitativas atuais do afluente da ETAR do Seixal

(Fonte: SIMARSUL, 2007)

Parâmetro	Unidades	Concentração
Caudal médio	m <sup>3</sup> /dia	5000
CBO <sub>5</sub>	mg/L	340
CQO	mg/L	605
SST	mg/L	200
Coliformes fecais	NMP/100 ml	<2000

### 5.2.2.3 Exigências de qualidade do efluente

O meio recetor das águas residuais tratadas pela ETAR do Seixal é o Esteiro do Seixal no Estuário do Tejo. Nestas condições, o grau de depuração das águas residuais à saída da linha de tratamento deverá obedecer aos limites de descarga que se apresentam no quadro 5.8. Estes limites de descarga obedecem aos valores da licença de descarga que por sua vez coincidem com os valores do Decreto-Lei n.º152/97, de 19 de Junho.

Quadro 5.8 – Requisitos de descarga da ETAR do Seixal

(Fonte: Memória descritiva da ETAR do Seixal, 2007)

Parâmetro	Unidades	Concentração
CBO <sub>5</sub>	mg/L	25
CQO	mg/L	125
SST	mg/L	35
Coliformes Fecais	NMP/100 ml	2000

### 5.2.2.4 Caracterização do sistema atual de desinfecção

A desinfecção é realizada através de módulos de UV instalados em canal aberto, recorrendo a lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade, e que estão orientadas horizontalmente relativamente ao fluxo de água tratada. A conceção do sistema de desinfecção foi desenvolvida de forma a garantir um grau de desinfecção mínimo correspondente a uma qualidade de

descarga com valores de coliformes fecais inferiores a 2000 NMP/100ml, ao caudal de ponta máximo de 3600 m<sup>3</sup>/hora e para uma concentração de SST máxima no efluente de 35 mg/L, correspondente a uma transmitância mínima de 60%. O sistema de limpeza das lâmpadas é automático químico e mecânico. No quadro 5.9 são apresentadas as características operacionais das lâmpadas UV instaladas na ETAR do Seixal.

Quadro 5.9 - Características técnicas do sistema de desinfecção instalado na ETAR do Seixal

(Fonte: SIMARSUL, 2015)

Parâmetro	Unidade	Valor
Tipo de sistema	-	GA56T6 Amalgama
Fornecedor	-	Trojan UV 3000 Plus
Número de canais	-	1
Número de módulos por canal	-	11
Número de lâmpadas por módulo	-	8
Número total de lâmpadas	-	88
Consumo de energia por lâmpada	W	360
Voltagem por lâmpada	V	230
Tempo de vida das lâmpadas	Horas	9000-12000
Tempo de vida do balastro	Ano	2
Periodicidade da substituição das lâmpadas	-	Elevada
Limpeza das lâmpadas	-	Automática

Tal como acontece na ETAR de Fernão Ferro, os elevados custos associados à manutenção do sistema de desinfecção UV, nomeadamente, substituição de lâmpadas UV e balastros, bem como dificuldade em garantir a qualidade microbiológica do efluente tratado, levou a entidade gestora a procurar soluções alternativas de desinfecção.

Na figura 5.6 apresentam-se fotografias do sistema de desinfecção UV3000 da Trojan instalado na ETAR do Seixal e de um dos módulos constituintes do sistema.

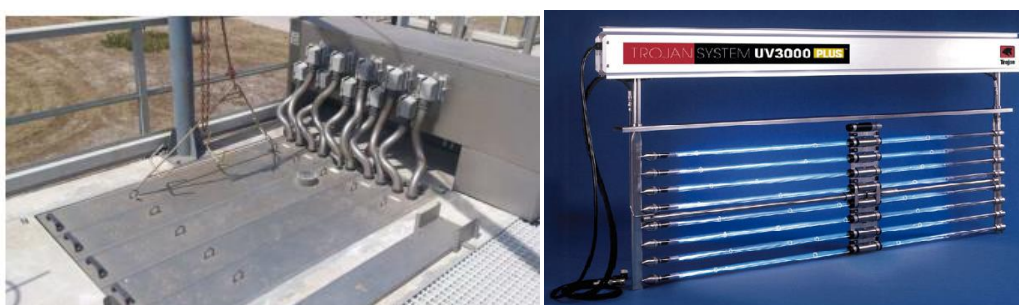


Figura 5.6 - Fotografias do sistema de desinfecção UV3000 da Trojan instalado na ETAR do Seixal e de um dos módulos constituintes do sistema.



## 6 METODOLOGIA

A parte experimental da dissertação incluiu a realização de um conjunto de ensaios de campo por forma a avaliar a qualidade microbiológica do efluente tratado com a variação da concentração e do tempo de contacto com o cloro bem como a formação de subprodutos. Os ensaios de campo iniciaram-se em Abril de 2015, tendo sido realizados com uma periodicidade semanal, até ao início do mês de Junho e consistiram no doseamento de hipoclorito de sódio e posteriormente na recolha e análise de amostras, à saída do decantador secundário e do efluente final. No caso da ETAR de Fernão Ferro, foram ainda recolhidas e analisadas amostras na ribeira que serve de meio recetor ao efluente tratado. A informação relativa aos ensaios realizados, locais de recolha de amostras e aos parâmetros analisados nas ETAR em estudo é apresentada nos quadros 6.1 e 6.2.

Quadro 6.1 – Ensaio realizados, locais de recolha e parâmetros analisados na ETAR de Fernão Ferro

Ensaio	Data recolha	Local de recolha	Temperatura	pH	Condutividade	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	SSV	Cloro Livre	Cloro Total	Coliformes fecais	THM
1	09-04	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
		Ribeira	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2	14-04	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
		Ribeira	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3	07-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
		Ribeira	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	12-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
		Ribeira	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	14-06	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
		Ribeira	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓

Quadro 6.2 - Ensaio realizados, locais de recolha e parâmetros analisados na ETAR do Seixal

Ensaio	Data	Local de recolha	Temperatura	pH	Condutividade	CBO <sub>5</sub>	CQO	SST	SSV	Cloro Livre	Cloro Total	Coliformes fecais	THM
1	30-04	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
2	05-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
3	06-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
		Efluente final	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	13-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
5	14-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	
6	19-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓
7	20-05	Decantador secundário	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	
		Efluente final	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓

No decorrer dos ensaios na ETAR de Fernão Ferro, o doseamento do hipoclorito de sódio foi efetuado em diversos locais, nomeadamente na descarga do decantador secundário e na camara a montante do canal UV, a partir de uma cuba de plástico com torneira e consequentemente, o controlo do caudal doseado era limitado. No que diz respeito à ETAR do Seixal, o doseamento do desinfetante foi efetuado apenas na descarga do decantador secundário com auxílio de uma bomba de caudal variável. Nas figuras 6.1 e 6.2 são ilustrados os pontos de doseamento de hipoclorito de sódio, nas ETAR em estudo.

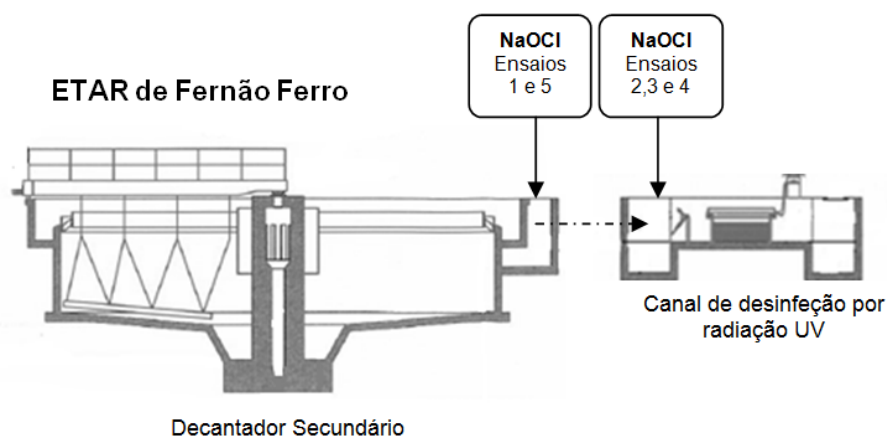


Figura 6.1 – Locais do doseamento de hipoclorito de sódio na ETAR de Fernão Ferro

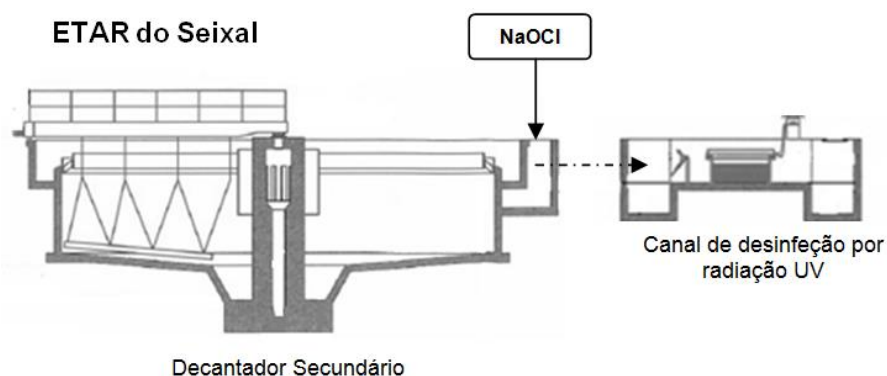


Figura 6.2 – Locais do doseamento de hipoclorito de sódio na ETAR do Seixal

Nos ensaios realizados, foram doseadas diferentes concentrações de hipoclorito de sódio com o objetivo de procurar avaliar o melhor compromisso entre a remoção de poluição bacteriológica, a concentração de cloro livre e a eventual formação de THM. No quadro 6.3 resumem-se os caudais e concentrações de hipoclorito de sódio bem como os tempos de contacto utilizados ao longo dos ensaios de campo, nas ETAR em estudo.

Quadro 6.3 - Caudais, concentrações de hipoclorito de sódio e tempos de contacto utilizados nos ensaios de campo

Ensaio	Data	Caudal afluente (m <sup>3</sup> /hora)	Caudal NaOCl (L/hora)	Cloro ativo (g Cl/L)	Concentração de cloro utilizada (mg Cl/L)	Tempo de contacto (*) (minutos)
<b>ETAR de Fernão Ferro</b>						
1	09-04	200	12,0	144,3	8,6	2,3
2	14-04	190	8,5	114,9	5,1	2,2
3	07-05	180	7,2	92,2	3,6	2,3
4	12-05	200	12,0	21,6	1,5	2,1
5	04-06	210	2,4	130,9	1,5	16,0
<b>ETAR do Seixal</b>						
1	30-04	500	52	164,1	17,0	27,0
2	05-05	710	52	163,3	12,0	19,0
3	06-05	900	52	163,1	9,5	15,0
4	13-05	300	18	151,0	9,0	44,0
5	14-05	800	35	151,0	7,0	17,0
6	19-05	650	22	150,0	5,0	21,0
7	20-05	820	26	150,0	5,0	16,0

(Na ETAR de Fernão Ferro o volume de contacto foi de 8 m<sup>3</sup> nos ensaios 1 a 4 e de 56 m<sup>3</sup> no ensaio 5; na ETAR do Seixal o volume de contacto foi de 220 m<sup>3</sup>)

De acordo com Leite (2014), por forma a suportar os ensaios de campo realizados na ETAR de Fernão Ferro, foram realizados ensaios laboratoriais onde foram doseadas concentrações de hipoclorito de sódio que variaram entre 2,0 mg/L e 6,0 mg/L e tempos de contacto entre 5 e 25 minutos. De acordo com os resultados obtidos, doseamentos de cloro de 4 mg/L e um tempo de contacto de 12 minutos, garantiram o cumprimento dos objetivos de qualidade. Face ao reduzido tempo de contacto materializado pela instalação existente, cerca de dois minutos, e de consequentemente, não ser expectável o cumprimento dos objetivos de qualidade,

procurou-se ainda assim realizar um conjunto de ensaios (ensaios 1 a 4) em que se variou a concentração de cloro doseado de 1,5 mg/L a 8,6 mg/L, isto é, de concentrações reduzidas (1-2 mg/L) até às concentrações normalmente utilizadas na desinfecção de efluentes tratados sujeitos a tratamento secundário (6-8 mg/L). Posteriormente foi efetuada uma pequena alteração no tanque de contacto da estação que consistiu numa abertura na parede de betão por forma a obrigar o efluente a passar no reservatório de água tratada, o que permitiu um aumento do tempo de contacto para cerca de 16 minutos. O objetivo incluía a realização de ensaios com o doseamento das concentrações idênticas às utilizadas nos ensaios anteriores, no entanto, por dificuldades operacionais, só foi possível realizar o ensaio 5.

De facto, o objetivo inicial era procurar obter resultados de campo, sem qualquer investimento significativo nas instalações existentes, que pudessem ser comparados com os resultados obtidos por Leite (2014) à escala laboratorial em que doseou concentrações de cloro entre 2,0 mg/L e 6,0 mg/L, tendo variado os tempos de contacto entre 5 minutos e 25 minutos e identificando uma dose ótima de 4 mg/L e um tempo de contacto de 12 minutos, por forma a cumprir os objetivos de qualidade.

É de referir que a percentagem de cloro ativo no hipoclorito de sódio utilizado na ETAR de Fernão Ferro diminuiu significativamente ao longo dos ensaios efetuados, o que implicou cuidados acrescidos, uma vez que foi necessário alterar o caudal doseado em função da percentagem de cloro ativo, por forma a ajustar a concentração de cloro doseada. É apontada como possível causa deste rápido decréscimo o facto da cuba de hipoclorito de sódio ser de pequenas dimensões (1 m<sup>3</sup>) e se encontrar exposta à radiação solar. De forma a procurar contornar esta situação, foi colocado um revestimento opaco em torno da cuba para evitar a sua exposição aos raios solares. No entanto, uma vez que não foram efetuados ensaios posteriormente à colocação daquele revestimento não foi possível testar a sua repercussão na variação da percentagem de cloro ativo.

Relativamente à ETAR do Seixal, face ao volume de contacto disponível, não foi colocada a questão dos tempos de contacto serem muito reduzidos. Por outro lado, face à variação de caudal, a variação do tempo de contacto foi igualmente significativa (de 15 minutos a 44 minutos). No que se refere à faixa de concentrações de cloro utilizadas, a variação foi de 5 mg/L a 17 mg/L, ou seja, uma faixa de concentrações bastante ampla e claramente superiores àquela utilizada na ETAR de Fernão Ferro. Foram utilizadas concentrações elevadas de hipoclorito de sódio por forma a avaliar possíveis situações de descontrolo de doseamento de cloro e conseqüentemente a formação de THM.

Relativamente à taxa de decaimento do cloro, é possível verificar que as concentrações de cloro ativo se mantêm praticamente inalteráveis ao longo dos ensaios uma vez que este foi

doseado a partir de uma cuba opaca, com capacidade de 10 m<sup>3</sup>, de fibra de vidro, que permite obter uma melhor inércia térmica e minimização da exposição à radiação solar.

Durante o processo de amostragem, as amostras foram recolhidas em frascos de polietileno de alta densidade (PEAD) e transportadas numa mala térmica. As amostras foram analisadas no laboratório interno situado na ETAR da Quinta do Conde. A determinação dos parâmetros cloro livre e total tendo sido realizado através do kit colorimétrico, utilizando DPD *Free Chlorine reagent* (determinação cloro livre) e DPD *Total Chlorine reagent* (determinação cloro total), alguns parâmetros foram determinados num laboratório externo acreditado, nomeadamente, o cloro livre, o cloro total, os coliformes fecais e os THM. O quadro 6.4 resume os parâmetros analisados nos diferentes laboratórios.

Quadro 6.4 – Parâmetros analisados nos laboratórios interno e externo

Parâmetro	Laboratório interno (ETAR da Quinta do Conde)	Laboratório externo
Temperatura	✓	
pH	✓	
Condutividade	✓	
CBO <sub>5</sub>	✓	
CQO	✓	
SST	✓	
SSV	✓	
Cloro ativo		✓
Cloro livre	✓	✓
Cloro total	✓	✓
Coliformes fecais	✓	✓
THM		✓



## 7 RESULTADOS

### 7.1 Ensaios com hipoclorito de sódio

Nos quadros 7.1 a 7.4 resumem-se os resultados relativos às amostras recolhidas e analisadas nos laboratórios interno e externo, nas ETAR de Fernão Ferro e Seixal.

Quadro 7.1 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno referentes à ETAR de Fernão Ferro

Ensaio	Local de recolha	Temperatura (°C)	pH	Conductividade (µs/cm)	CBO (mg/L)	CQO (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
1	Decantador secundário	20,5	7,6	681	< 13	27	< 10	< 10
	Efluente final	20,5	7,7	684	-	27	< 10	-
	Ribeira	20,5	7,9	573	< 13	26	< 10	< 10
2	Decantador secundário	19,6	7,5	824	6	33	< 10	< 10
	Efluente final	19,6	7,6	840	-	37	14	-
	Ribeira	19,7	7,8	763	< 6	31	< 10	< 10
3	Decantador secundário	20,3	7,6	846	9	36	10	< 10
	Efluente final	20,3	7,7	854	-	39	10	-
	Ribeira	20,3	7,7	851	7	38	15	12
4	Decantador secundário	22,1	7,5	899	34	57	37	33
	Efluente final	22,3	7,6	959	-	69	29	-
	Ribeira	22,1	7,7	933	12	58	27	24
5	Decantador secundário	22,0	7,6	1068	< 13	41	< 10	< 10
	Efluente final	21,7	7,7	1070	-	42	< 10	-
	Ribeira	21,6	7,8	1067	< 13	49	15	13

Quadro 7.2 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno e em laboratório externo referentes à ETAR de Fernão Ferro

Ensaio	Local de recolha	Laboratório interno		Laboratório externo			
		Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	CF (NMP/100 ml)	THM(µg/L)
1	Decantador secundário	-	-	-	-	20000	-
	Efluente final	1,12	1,27	0,42	0,49	< 1	-
	Ribeira	-	-	0,4	0,42	< 1	-
2	Decantador secundário	-	-	-	-	580000	-
	Efluente final	0,94	0,99	0,54	0,6	71000	-
	Ribeira	0,45	0,58	0,34	0,35	1000	-
3	Decantador secundário	-	-	-	-	2000000	-
	Efluente final	1,26	1,37	0,52	1,5	140000	< 10
	Ribeira	1,47	1,55	0,86	0,86	3400	< 10
4	Decantador secundário	-	-	-	-	3700000	-
	Efluente final	1,45	1,5	1,3	1,4	200000	< 10
	Ribeira	0,54	0,59	0,18	0,19	100000	< 10
5	Decantador secundário	-	-	-	-	650000	-
	Efluente final	-	-	0,33	0,43	2,00E+06	< 10
	Ribeira	-	-	-	-	22000	< 10

Quadro 7.3 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno referentes à ETAR do Seixal

Ensaio	Local de recolha	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (µs/cm)	CBO (mg/L)	CQO (mg/L)	SST(mg/L)	SSV (mg/L)
1	Decantador secundário	21,2	7,4	8570	48	11	70	20
	Efluente final	20,9	7,4	8390	-	44	18	-
2	Decantador secundário	21,2	7,2	8240	8	45	23	20
	Efluente final	21,5	7,2	8110	-	46	12	-
3	Decantador secundário	21,3	7,3	3180	< 6	35	12	10
	Efluente final	21,2	7,4	3220	< 6	37	12	10
4	Decantador secundário	21,6	7,4	8770	14	45	29	19
	Efluente final	21,8	7,7	8680	-	53	41	-
5	Decantador secundário	23,5	7,3	3690	14	50	24	22
	Efluente final	23,6	7,4	3660	-	51	15	-
6	Decantador secundário	21,0	7,4	3790	12	53	20	16
	Efluente final	21,9	7,5	3740	-	57	19	-
7	Decantador secundário	22,3	7,3	6180	20	88	90	56
	Efluente final	22,3	7,7	8970	-	70	33	-

Quadro 7.4 - Resultados obtidos dos parâmetros analisados em laboratório interno e em laboratório externo referentes à ETAR do Seixal

Ensaio	Local de recolha	Laboratório interno			Laboratório externo			
		Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	CF (NMP/100 ml)	Cloro livre (mg/L)	Cloro total (mg/L)	CF (NMP/100 ml)	THM(µg/L)
1	Decantador secundário	-	-	1,3E+6	-	-	2400000	-
	Efluente final	2,20	2,20	151	2,1	3	3,1	< 10
2	Decantador secundário	-	-	<200	-	-	-	-
	Efluente final	2,13	2,20	22	-	-	-	-
3	Decantador secundário	-	-	-	-	-	330000	-
	Efluente final	2,20	2,20	2,20	1,2	2,1	1000	<10
4	Decantador secundário	-	-	2,4E+6	-	-	-	-
	Efluente final	1,26	1,50	1059	-	-	-	-
5	Decantador secundário	-	-	1,6E+6	-	-	-	-
	Efluente final	1,65	1,89	615	-	-	-	-
6	Decantador secundário	-	-	1,6E+6	-	-	2400000	-
	Efluente final	0,87	0,93	15000	0,13	0,17	91000	< 10
7	Decantador secundário	-	-	-	-	-	8,20E+06	-
	Efluente final	0,96	1,18	-	0,45	0,55	2,30E+04	< 10

## 8 DISCUSSÃO E EXPLORAÇÃO DOS RESULTADOS

### 8.1 Ensaio de campo

Neste capítulo, são discutidos e explorados os resultados obtidos nos ensaios de campo realizados nas ETAR em estudo, por forma a procurar avaliar o desempenho da desinfecção por cloro na remoção de microrganismos patogénicos bem como na formação de subprodutos potencialmente nocivos para o meio ambiente.

Relativamente aos quadros 7.1 e 7.2, que dizem respeito aos resultados obtidos dos ensaios de campo efetuado na ETAR de Fernão Ferro importa referir os seguintes aspetos.

A temperatura da água residual é um parâmetro importante na etapa de desinfecção uma vez que tem grande influência na taxa de crescimento dos microrganismos (o crescimento dos microrganismos é mais rápido para temperaturas mais elevadas) e, por outro lado, o processo de desinfecção por cloro é potenciado para temperaturas superiores. A temperatura da água residual nos vários ensaios manteve-se à volta dos 20°C, pelo que, a influência nos resultados se pode considerar como sendo marginal.

Face aos valores de pH das amostras (acima de 7,5 em qualquer das amostras recolhidas) a forma predominante do hipoclorito de sódio presente na água, após dissociação, é o  $\text{OCl}^-$ , cujo poder desinfetante é claramente inferior à do  $\text{HOCl}$ , forma que predomina para pH inferiores a 7. Este aspeto é importante, pois poderá justificar uma estratégia de tratamento que inclua o ligeiro abaixamento do pH do efluente a desinfetar, por forma a potenciar a presença de  $\text{HOCl}$  e, conseqüentemente poder-se obter uma redução significativa do consumo de cloro, para os mesmos resultados pretendidos, o que poderá contribuir para limitar a concentração de cloro livre no efluente tratado, bem como a formação de subprodutos.

A condutividade elétrica é um parâmetro que permite avaliar a mineralização da água, nomeadamente, a eventual presença de cloretos na água residual, o que poderá ser relevante para o desempenho do tratamento biológico. No entanto, a sua influência no processo de desinfecção será marginal. Por outro lado, a faixa de valores relativa à condutividade está de acordo com o que seria espetável para uma água residual urbana (inferior a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Os parâmetros  $\text{CBO}_5$ , CQO e SST permitem avaliar o desempenho quer do processo biológico quer da separação sólido-líquido, pelo que o desempenho do processo de desinfecção poderá ser fortemente afetado e, ou condicionado por concentrações elevadas daqueles parâmetros (consumos significativos de oxidante associado à presença de substâncias orgânicas e limitação da remoção de poluição bacteriológica devida à presença de matéria em suspensão). É importante que a concentração destes parâmetros, à saída do decantador secundário seja mínima por forma a não comprometer a eficácia da ação do desinfetante, tal como foi

referenciado no ponto 4.3.3.1 (fatores que afetam a eficácia da desinfecção por cloro). Pela análise do quadro 7.1, é possível verificar que as concentrações de CBO, CQO e SST à saída do decantador secundário são inferiores ao legislado no Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho (25 mg/L, 125 mg/L e 35 mg/L respetivamente), com uma única exceção (CBO<sub>5</sub> e SST) referente ao ensaio 4. No que diz respeito às concentrações de SSV, estas são muito idênticas às concentrações de SST, o que parece indicar que a fração inerte é muito reduzida. Os resultados destes parâmetros não comprometem a eficiência da desinfecção.

Os valores de concentração de cloro livre são sempre inferiores aos do cloro total uma vez que o cloro livre diz respeito às formas livres dissociadas de cloro como o ácido hipocloroso ou o ião hipoclorito, consoante o pH da água, enquanto o cloro total diz respeito a soma de todas as formas livres e combinadas de cloro existentes no efluente. Por outro lado, admite-se que as diferenças verificadas entre os valores medidos de cloro livre e cloro total em ambos os laboratórios se devem à diferença temporal com que as análises são efetuadas. De facto, enquanto o cloro livre e total é determinado imediatamente após a recolha das amostras no laboratório interno, no caso do laboratório externo, as amostras depois de recolhidas, só são analisadas algumas horas depois (cerca de 4 horas), o que permite que o cloro continue a ser consumido pela matéria orgânica. Esta situação poderá justificar o facto dos valores de cloro livre e total medidos no laboratório interno serem superiores aos medidos no laboratório externo.

As concentrações de cloro livre são, genericamente, superiores à concentração de 0,5 mg/L (Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto), independentemente do laboratório em que foi determinado (as exceções são os valores relativos aos ensaios 1 e 5 bem como os resultados do laboratório externo), e da concentração de cloro doseada, o que poderá ser justificada pelo reduzido tempo de contacto (da ordem dos 2 minutos, nos ensaios 1 a 4). No ensaio 5, em que o tempo de contacto foi superior (cerca de 16 minutos) o valor do cloro livre é inferior a 0,5 mg/L, não tendo sido possível efetuar, no entanto, a sua determinação em laboratório interno.

Para os ensaios em que foi efetuada a determinação do cloro livre na ribeira, verifica-se que, com exceção dos valores do ensaio 4, houve algum decaimento, o que poderá ser justificado pelo tempo de percurso e, conseqüentemente, por algum consumo que inevitavelmente possa ter ocorrido (o efeito de diluição será marginal pois durante a realização dos ensaios, o caudal na ribeira era nulo). Importa igualmente referir que o resultado obtido no laboratório interno, relativo ao ensaio 4, parece indicar que não houve qualquer consumo de cloro (concentração doseada de 1,5 mg/L e concentração medida de 1,45 mg/L) o que poderá ser justificado pela ocorrência de interferências durante a realização do ensaio.

Como já foi referido anteriormente, as concentrações de cloro total determinadas foram sempre inferiores às do cloro livre, tendo sido, genericamente, superiores a 1,0 mg/L (valor limite de

acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto). As exceções foram os resultados do laboratório externo, relativos aos ensaios 1, 2 e 5, o que poderá ser justificado, igualmente como referido anteriormente, pelo tempo médio entre a recolha da amostra e a determinação do parâmetro.

Realça-se, igualmente, o facto de não haver uma diferença significativa nos resultados obtidos, independentemente da concentração de cloro doseada, como se pode observar nas figuras 8.1 e 8.2, que ilustram a variação da dosagem de cloro e a concentração de cloro livre e cloro total, medidos nos laboratórios internos e externos. De facto, os resultados obtidos, quer através do laboratório interno, quer do laboratório externo, para os ensaios 1 e 2, em que se dosearam concentrações de cloro significativamente superiores às dos restantes ensaios, não são particularmente diferentes das dos restantes ensaios, o que não parece ser razoável.

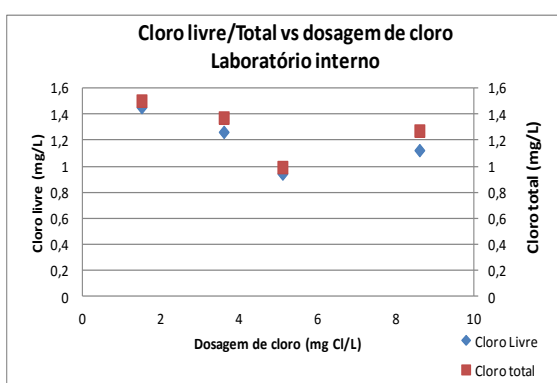


Figura 8.2 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório interno)

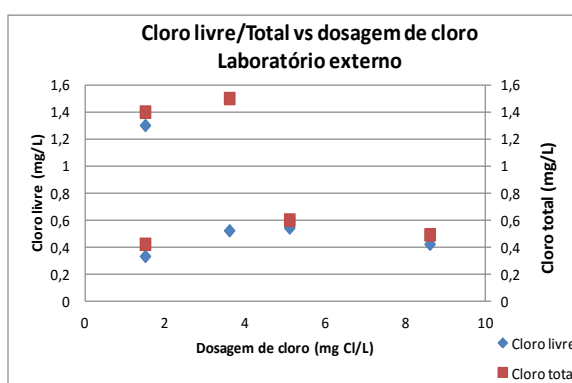


Figura 8.1 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório externo)

Relativamente à remoção de poluição bacteriológica importa referir a extrema variabilidade dos valores de coliformes fecais à saída do decantador secundário, o que, sendo normal numa ETAR, dificulta a análise dos resultados obtidos. Ainda assim, importa referir que, com exceção do ensaio 1, em que a concentração de cloro utilizada foi a mais elevada (8,6 mg/L) e a concentração de coliformes fecais à saída do decantador secundário foi a mais baixa (20.000 NMP/100 ml), nenhum dos ensaios efetuados permitiu o cumprimento dos objetivos, que era garantir uma concentração de coliformes fecais inferior a 2000 NMP/100 ml, o que poderá ser justificado quer pela baixa concentração de cloro utilizada, quer pelo baixo tempo de contacto. O decaimento da concentração de coliformes fecais que ocorre entre o “efluente final” e a “ribeira” poderá ser justificada pelo tempo de percurso que permite um “maior tempo de contacto”.

No que se refere ao ensaio 5, em que o tempo de contacto foi de 16 minutos, o resultado obtido aponta para o aumento da concentração de coliformes fecais entre o “decantador secundário” e o “efluente final” o que não parece ser razoável e poderá ser justificado por

algum erro analítico. Ainda assim, e apesar do elevado tempo de contacto face à concentração de cloro utilizada (1,5 mg/L) não seria expectável o cumprimento do objetivo de qualidade.

A determinação de THM foi efetuada em três ensaios (efluente final e ribeira), tendo os resultados obtidos sido sempre inferiores aos limites de detenção (inferior a 10 µg/L segundo o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho)

De um modo resumido e como referido anteriormente, o facto do tempo de contacto ser muito reduzido não permitiu para os vários ensaios efetuados que o cloro doseado fosse consumido e deste modo obtiveram-se, genericamente, concentrações de cloro livre e total superiores ao valor legislado (inferior a 0,5 mg/L de cloro livre, 1,0 mg/l de cloro total) de acordo com o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto. Por outro lado, a desinfecção não é efetiva, uma vez que não garante a qualidade microbiológica do efluente tratado, isto é, a concentração de coliformes fecais foi sempre superior a 2000 NMP/100 ml e conseqüentemente é relevante que sejam efetuados mais ensaios de campo, utilizando tempos de contacto superiores e doses de cloro normalmente utilizadas na desinfecção de efluente urbanos secundários, por forma a verificar a viabilidade técnica deste processo de desinfecção na ETAR de Fernão Ferro.

Relativamente aos quadros 7.3 e 7.4, que dizem respeito aos resultados obtidos dos ensaios de campo efetuado na ETAR de Seixal, importa referir os seguintes aspetos.

A temperatura da água residual durante os ensaios variou entre 21 e 22°C, pelo que, do mesmo modo para os ensaios de Fernão Ferro, não terá influenciado os resultados obtidos, não comprometendo o processo de desinfecção. Os valores de pH foram sempre superiores a 7, pelo que a forma predominante do hipoclorito de sódio presente na água, após dissociação, será o OCl<sup>-</sup>, cujo poder desinfetante é inferior à do HOCL, forma que predomina a pH inferior a 7. Deste modo, o que foi referido a propósito de Fernão Ferro é igualmente aplicável. No que diz respeito à faixa de valores relativa à condutividade no efluente tratado, esta é claramente mais elevada que os valores registados em Fernão Ferro, o que poderá indiciar o contributo de água do estuário (redes unitárias em que se fará sentir o efeito das marés). No entanto, este fenómeno parece não comprometer o tratamento biológico uma vez que os valores registados de CBO<sub>5</sub> à saída do decantador secundário são significativamente baixos, o que permite afirmar que existe uma adaptação dos microrganismos às características do efluente a tratar. Pela análise do quadro 7.3, é possível verificar que, na generalidade, as concentrações de CBO, CQO e SST à saída do decantador secundário são inferiores ao legislado no Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho (25 mg/L, 125 mg/L e 35 mg/L respetivamente), registando-se apenas duas exceções, relativas aos ensaios n.º 1 (CBO<sub>5</sub> e SST) e ensaio n.º 7 (SST).

De modo idêntico a Fernão Ferro, ocorrem variações significativas entre os resultados dos laboratórios interno e externo, relativos às determinações do cloro livre e do cloro total (com

exceção do ensaio 1), o que poderá ser justificado pelo facto das análises efetuadas no laboratório externo serem efetuadas algumas horas após a recolha das amostras.

As concentrações de cloro livre são sempre superiores ao valor limite de 0,5 mg/L definido no Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (com duas exceções dos ensaios 6 e 7, resultados do laboratório externo), independentemente da concentração doseada e do facto da faixa de tempos de contacto estar de acordo com o que é recomendado pelo estado da arte (ver capítulo 4.3.1.1). Por outro lado, apesar do cloro livre aumentar com a concentração de cloro doseada, aquela variação é claramente inferior à variação da concentração doseada (de 1,0 mg/L para 12,0 mg/L), como se pode observar nas figuras 8.3 e 8.4, o que indicia que, mesmo pelo doseamento de concentrações de cloro elevadas, ocorre um consumo muito significativo, o que, apesar das concentrações de CBO serem reduzidas, poderá indiciar que o consumo de cloro é da responsabilidade da CQO presente e da oxidação da poluição bacteriológica.

Por outro lado, e como seria expectável, a concentração de cloro total é sempre superior à concentração de cloro livre (com exceção do ensaio 3, em que os valores provenientes do laboratório interno são idênticos), e são praticamente sempre superiores a 1 mg/L (valor limite definido pelo Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto). As exceções são os ensaios 6 e 7, cujos resultados, quer relativos ao cloro livre (como referido anteriormente, são inferiores a 0,5 mg/L) quer relativos ao cloro total, são inferiores aos respetivos valores limites de acordo a legislação em vigor (o valor relativo ao cloro total do ensaio 6 proveniente do laboratório interno é também inferior ao valor limite).

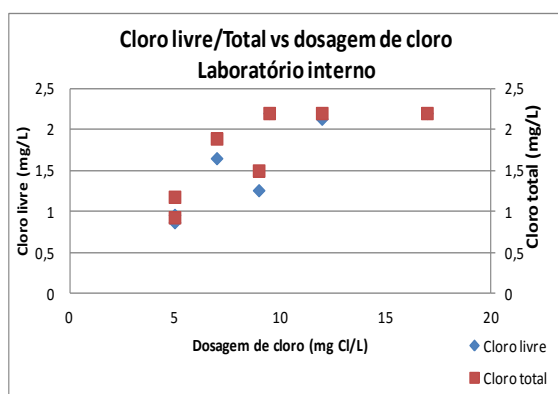


Figura 8.3 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório interno)

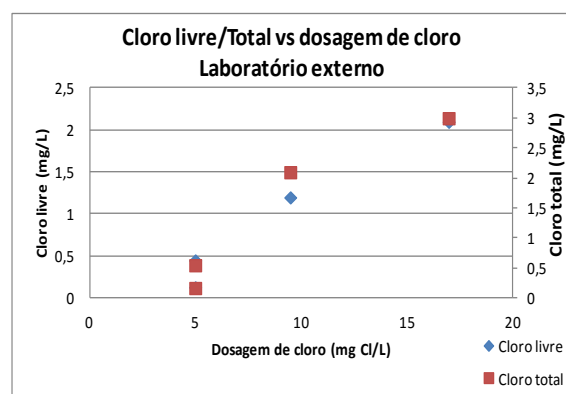


Figura 8.4 - Cloro livre/total vs dosagem de cloro (medições efetuadas em laboratório externo)

Relativamente à remoção de poluição bacteriológica, os ensaios 1 e 3, em que se utilizaram concentrações mais elevadas de cloro, garantiram o cumprimento dos objetivos de qualidade. No entanto, o facto de não ter sido possível a obtenção de resultados relativos aos ensaios 2, 4 e 5, limita as ilações que se possam querer retirar. Por outro lado, os ensaios 6 e 7, em que se utilizaram concentrações inferiores às comumente utilizadas na desinfecção de efluentes urbanos sujeitos a tratamento secundário, não garantem os objetivos de qualidade.

No que se refere à formação de subprodutos, foram efetuadas quatro determinações de THM (ensaio 1, 3, 6 e 7) que cobriram a faixa de concentrações de cloro utilizadas (5 a 17 mg/L), não tendo sido detetados THM em nenhum dos ensaios.

Da análise global dos ensaios realizados nas duas ETAR, os resultados obtidos apontam para que o cumprimento dos objetivos de qualidade obriguem a tempos de contacto suficientemente elevados, isto é, superiores a 15 minutos, e o doseamento de concentrações de cloro superior a 7 mg/L. Por outro lado, os resultados obtidos indiciam que é difícil limitar o cumprimento dos objetivos de qualidade em termos das concentrações de cloro livre e de cloro total presentes no efluente desinfetado. No entanto, a formação de subprodutos (THM) parece não constituir um problema, não tendo sido detetados em nenhum ensaio.

No entanto para que se possam tirar conclusões melhor fundamentadas, é importante que seja efetuada a realização de um conjunto significativo de ensaios, em simultâneo com os ensaios de campo, que simulem em laboratório condições idênticas de concentrações de cloro doseado e de tempo de retenção. Por outro lado, é igualmente relevante que os métodos de determinação utilizados e, ou os resultados provenientes dos diferentes laboratórios sejam comparáveis.

Uma vez que é intenção da AdLVT minimizar as obras de construção civil nos tanques de contacto das ETAR em estudo, poderia ser uma mais valia para o tratamento terciário das mesmas a instalação de uma etapa de filtração do efluente secundário tratado a montante da etapa de desinfecção por forma a remover parte da matéria em suspensão remanescente, permitindo assim que o cloro doseado não seja utilizado na oxidação desta, ficando disponível em maior quantidade para a inativação bacteriológica. Contudo, é necessária a instalação de um tanque de contacto, na ETAR de Fernão Ferro que materialize tempos de contacto superiores aos atualmente conseguidos, por forma a permitir um maior contacto do efluente com o desinfetante.

## 8.2 Estimativa de custos

Por forma a comparar os custos da alternativa de desinfecção através do recurso a hipoclorito de sódio, com o recurso a desinfecção por intermédio da radiação ultravioleta, foi efetuada uma análise comparativa, suportada por informação disponibilizada relativa à desinfecção por UV e por informação resultante de consultas de mercado, tendo sido considerados os seguintes pressupostos:

- O caudal afluente às ETAR em estudo mantém-se constante durante um período de exploração de cinco anos;
- Apenas metade das lâmpadas UV que constituem o sistema de desinfecção se encontram em operação, uma vez que o caudal de aflui às ETAR é significativamente inferior ao caudal de projeto;
- Considera-se que o sistema de desinfecção por UV tem um período de funcionamento de 16 horas por dia.

A estimativa de custos encontra-se no Anexo I.

### 8.2.1 Balanço energético

No quadro 8.1 apresenta-se uma estimativa do consumo médio de energia associado aos equipamentos que compõem as etapas de desinfecção por cloragem e radiação ultravioleta, bem as respetivas potências e período de funcionamento.

Quadro 8.1 - Consumos energéticos dos equipamentos

Processo de desinfecção /ETAR	Equipamento	Unidades			Potência unitaria inst. (kW)	Funcionamento (h/dia)	Consumo energético (kWh/dia)
		Serviço	Reserva	Total			
Cloragem (Fernão Ferro e Seixal)	Bomba doseadora de hipoclorito de sódio	1	1	2	0,18	24	4
UV (Fernão Ferro)	Unidade de desinfecção por radiação UV	1	0	1	4	16	64
UV (Seixal)	Unidade de desinfecção por radiação UV	1	0	1	16	16	253

### 8.2.2 Custos de investimento

No caso das ETAR em apreço, a operação de desinfecção por UV já está construída, pelo que não há custos de investimentos a considerar. Por outro lado, os equipamentos associados a uma solução de cloragem e o seu custo são apresentados no quadro 8.2.

Quadro 8.2 - Custo de investimento associado à desinfecção por hipoclorito de sódio

Descrição	Custo unitário (€)	Unidades necessárias	Custo total (€)
Bomba doseadora de hipoclorito de sódio a 13,5%	2.000,00	2	4.000,00
Analizador de cloro residual instalado à saída da câmara de contacto, para medição e registo em contínuo na supervisão da ETAR	6.000,00	1	6.000
Mangueira necessária ao doseamento de NaOCl	150,00	1	200,00
Bomba submersível para alimentação do medidor de cloro residual, incluindo tubagens de ligação e todos os acessórios e trabalhos complementares e necessários	700,00	1	700,00
Instalação elétrica e instrumentação	3.500,00	1	3.500,00
<b>Total (ICF)</b>			<b>14.350,00</b>

### 8.2.3 Energia Elétrica

Os custos de energia elétrica foram estimados com base no tempo de funcionamento dos equipamentos e respetivas potências, admitindo-se um custo de energia de 0,10€/kWh. O consumo de energia elétrica previsto é apresentado no quadro 8.3.

Quadro 8.3 - Custo associado ao consumo energético

Processo de desinfecção	Equipamento	Consumo energético (kWh/dia)	Custo médio energia (€/kWh)	Custo total (€/ano)
Cloragem (Fernão Ferro e Seixal)	Bomba doseadora de hipoclorito de sódio	4,32	0,10	157,68
UV (Fernão Ferro)	Unidade de desinfecção por radiação UV	64		2.400,00
UV (Seixal)	Unidade de desinfecção por radiação UV	253		9.300,00

### 8.2.4 Reagentes

Na determinação da dose de desinfetante a utilizar, consideram-se os caudais médios 1.100 m<sup>3</sup>/dia e 5.000 m<sup>3</sup>/dia, para as ETAR de Fernão Ferro e Seixal, respetivamente, e uma concentração média de cloro a dosear de 5 mg/L. O custo do reagente foi obtido com base numa estimativa de consumo anual. O consumo médio de hipoclorito de sódio previsto e o seu custo é representado no quadro 8.4.

Quadro 8.4 – Custo associado ao consumo de hipoclorito de sódio

Parâmetro	ETAR Fernão Ferro	ETAR Seixal
Consumo NaOCl (kg/dia)	41	185
Custo (€/kg NaOCl)		0,127
Custo total (€/ano)	2.000,00	8.600,00

### 8.2.5 Manutenção

Os custos de manutenção do sistema de desinfecção por UV dizem respeito à substituição de lâmpadas UV, que devido ao seu período de vida útil (9000 horas), necessitam de ser substituídas todos os anos, bem como à substituição dos balastos que devem ser substituídos a cada dois anos. Relativamente à desinfecção por doseamento de hipoclorito de sódio, considerou-se que os custos de manutenção dos equipamentos instalados são marginais. No quadro 8.5 resumem-se os custos associados à substituição de lâmpadas UV nas ETAR em estudo.

Quadro 8.5 – Custo associado à substituição de lâmpadas UV e balastos

Parâmetro	ETAR Fernão Ferro	ETAR Seixal
Número de lâmpadas UV	16	44
Custo (€/unidade)	300,00	300,00
Custo total (€/ano)	8.300,00	13.200,00
Número de balastos	1	5
Custo (€/unidade)	1.000,00	1.000,00
Custo total (€/2 anos)	1.000,00	5.000,00

### 8.2.6 Custos totais atualizados e tarifas

Os custos totais atualizados e os custos por metro cúbico de água residual tratada a considerar nas ETAR de Fernão Ferro e Seixal são apresentados nos quadros 8.6 e 8.7.

Quadro 8.6 - Custos totais atualizados

Fernão Ferro		Seixal	
Cloragem	UV	Cloragem	UV
Custos totais (€)	Custos totais (€)	Custos totais (€)	Custos totais (€)
26.000,00	43.000,00	64.000,00	140.000,00

Quadro 8.7 – Custo por metro cúbico de água residual tratada associado a cada processo de desinfecção

Fernão Ferro		Seixal	
Cloragem	UV	Cloragem	UV
Tarifa (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa (€/m <sup>3</sup> )	Tarifa (€/m <sup>3</sup> )
0,013	0,021	0,007	0,015

Nas duas figuras seguintes apresentam-se os custos totais atualizados para as soluções de desinfecção por cloragem e radiação UV. As figuras 8.12 e 8.13 dizem respeito às ETAR de Fernão Ferro e Seixal, respetivamente.

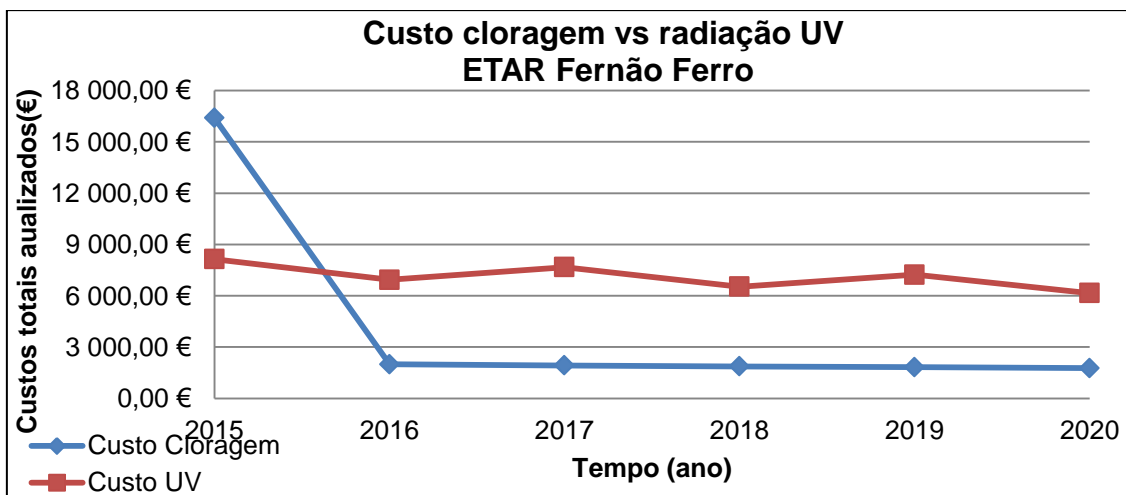


Figura 8.5 - Custos totais atualizados, associados à desinfeção por cloração e UV, na ETAR de Fernão Ferro

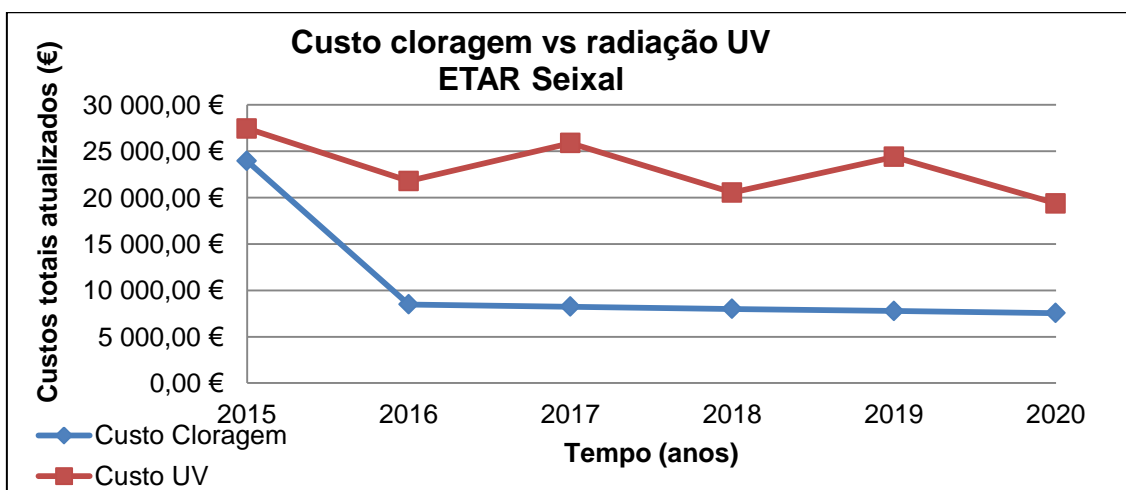


Figura 8.6 - Custos totais atualizados, associados à desinfeção por cloração e UV, na ETAR do Seixal

Da análise dos resultados obtidos realçam-se os seguintes aspetos:

- Os custos totais atualizados associados ao tratamento por cloração são significativamente inferiores (cerca de 50%) aos custos totais atualizados associados ao tratamento por desinfeção com radiação ultravioleta.
- Os custos de exploração associados à desinfeção por doseamento de hipoclorito de sódio são inferiores aos custos da desinfeção por radiação ultravioleta. Os custos de energia e de manutenção do equipamento de desinfeção por UV, nomeadamente a substituição de lâmpadas, constituem um aspeto relevante que onera significativamente os custos de exploração das ETAR em estudo;
- O custo por metro cúbico de água residual tratada associada à cloração é significativamente inferior (cerca de metade) ao custo associado à desinfeção por UV.

## 9 CONCLUSÕES

As principais conclusões do trabalho efetuado incluíram:

- Em qualquer das ETAR que constituíram o caso de estudo, Fernão Ferro e Seixal, a temperatura da água residual não terá tido influencia relevante nos resultados obtidos;
- Em ambas as ETAR, a forma predominante do hipoclorito de sódio presente na água, após dissociação foi o  $OCL^-$ , o que poderá limitar o seu poder de desinfetante;
- Em ambas as ETAR os valores de  $CBO_5$ , CQO e SST, cumprem, genericamente, os objetivos de qualidade, não parecendo limitar o desempenho da operação de desinfecção, independentemente da operação/processo utilizada;
- A condutividade elétrica não parece limitar o desempenho do processo biológico em qualquer das ETAR;
- Na ETAR de Fernão Ferro, os tempos de contacto com o hipoclorito de sódio são muito reduzidos, o que limite a desinfecção, pelo que os resultados não foram conclusivos;
- Na ETAR do Seixal em que os tempos de contacto estão de acordo com o estado da arte, a utilização de concentrações mais elevadas de hipoclorito de sódio garante o cumprimento dos objetivos de qualidade, mas não garante o cumprimento dos objetivos da concentração de cloro livre e de cloro total;
- Em qualquer das ETAR não foi detetada a formação de subprodutos;
- A utilização de hipoclorito de sódio como desinfetante apresenta custos significativamente inferiores aos custos associados à radiação ultravioleta;
- O recurso à utilização do hipoclorito de sódio como desinfetante acresce da realização de ensaios complementares.



## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRIA, A., SOUSA, I., SANTOS, S. & CAVACO, M. (APDA). Trihalometanos – Análise da situação em Portugal. Comissão especializada de qualidade da água, 1998.

ALVES, C. **Tratamento de águas de abastecimento**. Publindústria, 2ª edição, 2005.

ALVES, N. **Implementação de sistemas de reutilização de águas residuais urbanas para rega de zonas verdes com elevado contacto humano**. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2008.

ANTUNES, R. **Contribuição para o estudo de odores em estações de tratamento de águas residuais urbanas**. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2006.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE DISTRIBUIÇÃO E DRENAGEM DE ÁGUAS (APDA). **Bactérias coliformes**. Comissão especializada de qualidade da água, 2012.

COSTA, B. **Viabilização da reutilização do efluente tratado, usos, aplicações e respetivos impactos na gestão dos mesmos**. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais – Universidade do Algarve, 2008.

COSTA, J. **Avaliação ecotoxicológica de efluente de tratamento secundário de esgoto sanitário após desinfecção com ácido peracético, cloro, ozono e radiação ultravioleta**. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

CRITIES, R. & TCHOBANOGLIOUS, G. **Small and Decentralized Wastewater Management Systems**. The McGraw-Hill Companies, 1998.

**Decreto-Lei n.º 236/98**, Diário da República n.º 176 – I Série A, pp. 3676 – 3722, 1 de Agosto, 1998.

ELEFRITZ, R. **Comparison of alternate methods of disinfection for reclaim effluents**. Florida Water Resources Journal, 2000.

EUROPEAN COMMISSION – **Water Reuse System Management Manual AQUAREC. AQUAREC**. Ed. Davide Bixio and Thomas Wintgens, Directorate-General for Research, Brussels, 2006.

FERREIRA, W. & SOUSA, J. **Microbiologia**. Volume 1, Lidel, 1998.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de cloração de água em pequenas comunidades**. Departamento de Saúde Ambiental de Brasília, 1ª edição, 2014.

GASPAR, A. **Influência dos sólidos em suspensão sobre a eficiência de desinfecção de águas residuais tratadas por radiação ultravioleta**. *Tese de Mestrado*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.

GROSS, M. & FARRELL-POE, K. **Disinfection**. University Curriculum Development for Decentralized Wastewater Management, 2004.

HIDROPROJECTO, Engenharia e Gestão S.A. **Descrição de tecnologias de desinfecção**. Lisboa, 2011.

INSTITUTO REGULADOR DE ÁGUAS E RESÍDUOS (IRAR). **Recomendação n.º 5/2007 – Desinfecção de água destinada ao consumo humano**. Lisboa, 2007

LAPOLLI, F., HASSEMER, M., CAMARGO, J., DAMÁSIO, D. & RECIO, M. **Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

LEITE, A. **Desinfecção de efluentes urbanos com recurso a cloro**. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2014.

LOURENÇO, J. **Avaliação da resistência de microrganismos patogénicos à desinfecção sequencial com ozono-irradiação ultravioleta e Cloro - irradiação ultravioleta**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2009.

LUCCA, L. **Controle de qualidade do hipoclorito de sódio no processo de produção**. Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Química, 2006.

MARECOS DO MONTE, M.H. **Reutilização de águas residuais para usos urbanos, industriais, recreativos e ambientais**. Curso sobre reutilização de águas residuais, ABOUTBLUE, 2008.

MARTINS, R. **Desinfecção de águas residuais domésticas por irradiação ultravioleta**. *Tese de Mestrado*. Instituto Superior de Engenharia – Instituto Politécnico do Porto, 2006.

Memória Descritiva e Justificativa do Processo, Tratamento e Equipamento da ETAR de Fernão Ferro. Ampliação e Beneficiação da ETAR de Fernão Ferro – Projeto de execução, 2006.

Memória Descritiva e Justificativa do Processo de Tratamento da ETAR do Seixal – Projecto de execução, 2007

Memória Descritiva e Justificativa da ETAR de Setúbal – Projecto de execução para a instalação de uma etapa complementar de desinfecção do efluente tratado na ETAR de Setúbal – Estudo Prévio, 2011.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. The McGraw-Hill International Editions, 4ª Edição, 2003.

MEYER, S. **O uso de cloro na desinfecção de águas, a Formação de Trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública**. Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 1994.

MONTE, H.& ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 1ª Edição, 2010.

NAUGHTON, O., & HYND, P. D. **Public awareness, behaviours and attitudes towards domestic wastewater treatment systems in the Republic of Ireland**. Journal of Hydrology, 2013.

PEREIRA, D. **Deteção de subprodutos na desinfecção com cloro em água dessalinizada**. *Tese de Mestrado*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2007.

QASIM, S.R. **Wastewater Treatment Plans – Planning, Design and Operation**. Technomic Publication, 1999.

QUEVAUVILLE P., THOMAS O., VAN DER BEKEN, A. **Wastewater quality monitoring and treatment**. Chichester: John Wiley & Sons; 2006

SINCERO, A. P. **Physical-chemical treatment of water and wastewater**. London: IWA Publishing; 2002

SPELLMAN, F.R. **Choosing disinfection alternatives for water/wastewater treatment**. Technomic Publication, 1999.

- STAGNITTI, F., HAMILTON, A., VERSACE, V., LERODIACONOU, D. **Wastewater reuse: Environmental impacts and risk assessment**, 1998.
- TAYLOR, P., ESPIGARES, E., MORENO, E., FERNÁNDEZ-CREHUET, M., JIMÉNEZ, E. **Sustainable and effective control of trihalomethanes in the breakpoint chlorination of wastewater effluents**. Environmental Technology, 2014.
- TOZE, S. **Reuse of effluent water – benefits and risks**. Agricultural water management. 2006
- URKIAGA, A. & FUENTES, L.D. **Best Available technologies for water reuse and recycling**. Talk presented at Fundación Gaiker. Bizkaia, Spain, 2004.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Wastewater Technology Fact Sheet – Ultraviolet Disinfection**. United States Environmental Protection Agency, 1999.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Wastewater Technology Fact Sheet – Chlorine Disinfection**. United States Environmental Protection Agency, 1999.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Guidance Manual: Ultraviolet Disinfection – Draft**. Washington, D.C., 2003.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Guidelines for Water Reuse**. United States Environmental Protection Authority, 2004.
- WHITE, G. **Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants**, 4th ed., A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1999.
- WHO Guidelines for the Safe of Wastewater, Excreta and Greywater, 2006.
- YANG, X., SHANG, C. & HUANG, J. **DPB formation in breakpoint chlorination of wastewater**. Water Research, 2005.



## 11 ANEXO I – Estimativa de custos

- **Fernão Ferro**

Quadro 11.1 - Estimativa de custos da operação de cloração a instalar na ETAR de Fernão Ferro

Cloragem										
Ano		Caudal (m3/dia)	Caudal (m3/ano)	ICF	Reagentes	Energia	Operação e Manutenção	Custos Totais (€)	Taxa de atualização	Custos totais atualizados
0	2015			14.350,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	16.396,22 €	1,00 €	16.396,22 €
1	2016	1100	401500	0,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	2.046,22 €	0,97 €	1.986,62 €
2	2017	1100	401500	0,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	2.046,22 €	0,94 €	1.928,76 €
3	2018	1100	401500	0,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	2.046,22 €	0,92 €	1.872,58 €
4	2019	1100	401500	0,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	2.046,22 €	0,89 €	1.818,04 €
5	2020	1100	401500	0,00 €	1.888,54 €	157,68 €	0,00 €	2.046,22 €	0,86 €	1.765,08 €
<b>Total</b>		5500	2007500	14.350,00 €	9.442,69 €	630,72 €	0,00 €	26.627,30 €	5,58 €	25.767,29 €
ICF			14.350,00 €							
Custos exploração			10.073,41 €							
Custos totais atualizados			25.767,29 €							
Custos totais atual./m3.ano			0,013 €							

Quadro 11.2 - Estimativa de custos da operação de desinfecção por UV instalada na ETAR de Fernão Ferro

Radiação UV										
Ano		Caudal (m3/dia)	Caudal (m3/ano)	ICF	Reagentes	Energia	Operação e Manutenção	Custos Totais (€)	Taxa de atualização	Custos totais atualizados
0	2015			0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	5.800,00 €	8.136,00 €	1,00 €	8.136,00 €
1	2016	1100	401500	0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	4.800,00 €	7.136,00 €	0,97 €	6.928,16 €
2	2017	1100	401500	0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	5.800,00 €	8.136,00 €	0,94 €	7.668,96 €
3	2018	1100	401500	0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	4.800,00 €	7.136,00 €	0,92 €	6.530,45 €
4	2019	1100	401500	0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	5.800,00 €	8.136,00 €	0,89 €	7.228,73 €
5	2020	1100	401500	0,00 €	0,00 €	2.336,00 €	4.800,00 €	7.136,00 €	0,86 €	6.155,58 €
<b>Total</b>		5500	2007500	0,00 €	0,00 €	11.680,00 €	26.000,00 €	37.680,00 €	5,58 €	42.647,87 €
ICF			0,00 €							
Custos exploração			37.680,00 €							
Custos totais atualizados			42.647,87 €							
Custos totais atual./m3.ano			0,021 €							

- **Seixal**

Quadro 11.3 - Estimativa de custos da operação de cloração a instalar na ETAR do Seixal

Cloração										
Ano	Caudal (m3/dia)	Caudal (m3/ano)	ICF	Reagentes	Energia	Operação e Manutenção	Custos Totais (€)	Taxa de atualização	Custos totais atualizados	
0	2015			15.200,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	23.941,94 €	1,00 €	23.941,94 €
1	2016	5000	1825000	0,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	8.741,94 €	0,97 €	8.487,32 €
2	2017	5000	1825000	0,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	8.741,94 €	0,94 €	8.240,12 €
3	2018	5000	1825000	0,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	8.741,94 €	0,92 €	8.000,11 €
4	2019	5000	1825000	0,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	8.741,94 €	0,89 €	7.767,10 €
5	2020	5000	1825000	0,00 €	8.584,26 €	157,68 €	0,00 €	8.741,94 €	0,86 €	7.540,87 €
<b>Total</b>		25000	9125000		42.921,30 €	630,72 €	0,00 €	67.651,64 €	5,58 €	63.977,46 €
ICF			15.200,00 €							
Custos exploração			43.552,02 €							
Custos totais atualizados			63.977,46 €							
Custos totais atual./m3.ano			0,007 €							

Quadro 11.4 - Estimativa de custos da operação de desinfecção por UV instalada na ETAR do Seixal

Radiação UV										
Ano	Caudal (m3/dia)	Caudal (m3/ano)	ICF	Reagentes	Energia	Operação e Manutenção	Custos Totais (€)	Taxa de atualização	Custos totais atualizados	
0	2015			0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	18.200,00 €	27.450,56 €	1,00 €	27.450,56 €
1	2016	5000	1825000	0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	13.200,00 €	22.450,56 €	0,97 €	21.796,66 €
2	2017	5000	1825000	0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	18.200,00 €	27.450,56 €	0,94 €	25.874,79 €
3	2018	5000	1825000	0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	13.200,00 €	22.450,56 €	0,92 €	20.545,44 €
4	2019	5000	1825000	0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	18.200,00 €	27.450,56 €	0,89 €	24.389,47 €
5	2020	5000	1825000	0,00 €	0,00 €	9.250,56 €	13.200,00 €	22.450,56 €	0,86 €	19.366,05 €
<b>Total</b>		25000	9125000	0,00 €	0,00 €	46.252,80 €	76.000,00 €	122.252,80 €	5,58 €	42.647,87 €
ICF			0,00 €							
Custos exploração			37.680,00 €							
Custos totais atualizados			42.647,87 €							
Custos totais atual./m3.ano			0,021 €							