

Universidade do Algarve

Faculdade Ciências e Tecnologia

**Estudo das capacidades de redução microbiológica na
etapa de pré-oxidação e global da Estação de Tratamento de
Água de Tavira**

Andreia de Sousa Viegas

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Biológica

Faro
2010

Universidade do Algarve

Faculdade Ciências e Tecnologia

**Estudo das capacidades de redução microbiológica na
etapa de pré-oxidação e global da Estação de Tratamento de
Água de Tavira**

Andreia de Sousa Viegas

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Biológica

Orientadores: Prof. Raul Barros

Eng.^a Helena Lucas

Co-Orientadores: Eng.º Nuno Martins

Eng.^a Ana Pina

Faro
2010

Agradecimentos

- Desejo manifestar o meu sincero reconhecimento à Eng.^a Helena Lucas, minha orientadora e ao Prof. Raúl Barros, meu orientador, pelo esforço, pela informação facultada, sugestões, e pela disponibilidade que sempre demonstraram em apoiar esta dissertação;

- Ao Eng.^o Nuno Martins, Eng.^a Ana Pina por toda a colaboração e orientação, conhecimentos partilhados e sua disponibilidade. A todos o que me receberam com amizade na ETA de Tavira;

- A todos os meus amigos, colegas pelo apoio, compreensão, ajuda, momentos de alegria e trabalho que compartilhamos, em especial à Marita, Rafaela, Débora, Liliana B., Jorge, Liliana V., Milene, Zé Filipe, Miguel Ângelo e à Mariana;

- Aos meus Pais e irmão por tudo. Sem vocês nunca chegaria onde cheguei. **Muito obrigada.**

- Na Fé que professo agradeço a Deus nas Três Pessoas da SS que sempre estiveram comigo e sempre me levaram ao colo.

A todos aqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para o alcançar este objectivo, o meu sincero obrigada!

Resumo

Os processos de oxidação química e de desinfecção no tratamento de água para consumo humano são cruciais para reduzir a carga microbiológica eventualmente existente na água de origem (água bruta) e no final do tratamento (água filtrada) para assegurar a potabilidade da água até à torneira do consumidor.

A presente dissertação pretendeu identificar as diferentes capacidades de redução microbiológica, perante cada grupo de microrganismos presente na água e para as condições operacionais das etapas de oxidação química e de desinfecção disponíveis na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Tavira.

Em termos gerais, a totalidade de grupos microbiológicos analisados teve a sua remoção na etapa de pré-oxidação, considerando-se uma boa capacidade de redução da ETA de Tavira, à excepção dos parâmetros relativos ao Fitoplâncton e Número de colónias a 22°C e a 37°C.

A água tratada da ETA de Tavira cumpriu a legislação em vigor, durante o período em que se realizou o presente estudo, não havendo registos do seu incumprimento nos parâmetros microbiológicos.

Palavras-Chaves: processo de oxidação química, desinfecção, tratamento de água, Estação de tratamento de água (ETA), Microrganismos, estudo das capacidades de redução microrganismos

Abstract

The processes of chemical oxidation and of disinfection in the treatment of water for human consumption are crucial to reduce the eventually existent microbiological load in the non- treated water and in the filtered water to ensure safety water to the tap.

The present dissertation aimed to identify the different capacities of microbiological reduction against each group of microorganisms present for the operational conditions of the stages of chemical oxidation and of disinfection available in the Tavira Water Treatment Plant (WTP) .

In general terms a large part of the microbiological analysed groups has its removal in the pre-oxidation stage, being a good capacity of reduction found on the WTP of Tavira, with the exception of the parameters Fitoplancton and Number of colonies at 22°C and at 37°C.

The treated water in Tavira WTP complies with the legislation in force and there are no records of its failure to fulfil the microbiological parameters.

Key words: processes of chemical oxidation, disinfection, treatment of water, Water Treatment Plant (WTP)

Abreviaturas

- AB** Água Bruta
- AdA** Águas do Algarve
- AF** Água Filtrada
- AO** Água Oxidada (ozonizada)
- APCER** Associação Portuguesa de Certificação
- AT** Água tratada
- BF** *Baffling Factors*
- C/F/S** Coagulação/Floculação/Sedimentação
- CT** Dose de oxidante (concentração × tempo de contacto) (mg.min /L)
- CT₉₀** Dose necessária para inactivar 90% (1-log) de agentes biológicos (mg.min /L)
- CT₉₉** Dose necessária para inactivar 99% (2-log) de agentes biológicos (mg.min /L)
- DBP** Subprodutos da oxidação (disinfection by-products)
- ETA** Estação de tratamento de água para consumo humano
- FR** Formas de agentes biológicos com resistência à oxidação química
- HPC** Contagens de microrganismos heterotróficos em placa (heterotrophic plate count)
- NOM** Matéria orgânica natural (natural organic matter)
- OMS** Organização Mundial de Saúde
- P/A** Presença/ Ausência
- TDT** Tempo teórico (volume / caudal)
- THM** Trihalometanos
- USEPA** Agência Americana de Protecção do Ambiente (US Environmental Protection Agency)

Índice

	Página
1.Introdução	1
1.1Estrutura da dissertação	1
2.Revisão do estado de arte	2
2.1Grupos de microrganismos presentes na água	3
2.1.1Bactérias patogénicas	3
2.1.2Vírus	4
2.1.3Protozoários	4
2.2Microrganismos indicadores da qualidade da água	5
2.2.1Coliformes Totais	6
2.2.1.1 Valor indicador	7
2.2.1.2 Método de análise	7
2.2.1.3Significado na água potável	7
2.2.2Coliformes fecais e <i>E.coli</i>	8
2.2.2.1Valor indicador	8
2.2.2.2Origem e ocorrência	8
2.2.2.3Método de análise	9
2.2.2.4Significado na água potável	9
2.2.3 <i>Clostridium perfringens</i>	9
2.2.3.1Valor indicador	9
2.2.3.2Origem e ocorrência	10
2.2.3.3Método de análise	10
2.2.3.4Significado na água potável	10
2.2.4Contagem de microrganismos heterotróficos em placa	11

2.2.4.1	Valor indicador	11
2.2.4.2	Origem e ocorrência	11
2.2.4.3	Método de análise	12
2.2.4.4	Significado na água potável	12
2.2.5	Colifagos	13
2.2.5.1	Origem e ocorrência	13
2.2.5.2	Método de análise	13
2.2.5.3	Significado na água potável	14
2.2.6	Fagos <i>Bacteroides fragilis</i>	14
2.2.6.1	Valor indicador	15
2.2.6.2	Método de análise	15
2.2.7	Vírus Entéricos	15
2.2.7.1	Valor indicador	16
2.2.7.2	Origem e ocorrência	16
2.2.7.3	Método de análise	16
2.2.7.4	Significado na água potável	17
2.2.8	<i>Giardia lamblia</i>	17
2.2.8.1	Significado na água potável	17
2.2.9	<i>Cryptosporidium</i>	17
2.2.9.1	Significado na água potável	18
2.3	Conformidade da água para consumo humano	18
2.4	Etapas de eliminação/remoção dos microrganismos na água	20
2.4.1	Pré-oxidação	27
2.4.1.1	Ozono	28

2.4.1.1.1	Inactivação dos microrganismos	28
2.4.1.2	Dióxido de cloro	29
2.4.1.2.1	Inactivação dos microrganismos	30
2.4.2	Desinfecção final com cloro	31
2.4.2.1	Inactivação de microrganismos	32
2.4.2.2	Aspectos críticos de cloragem	34
3.	Metodologia de trabalho	36
3.1	Estudo e caracterização das condições operacionais	36
3.1.1	Estação de tratamento de água de Tavira	36
3.1.1.1	Linha de tratamento de água	37
3.1.1.2	Linha de tratamento de lamas	39
3.2	Estudo e análise do histórico dos resultados da qualidade da água	40
3.3	Verificação e cálculo das capacidades de redução microbiológica	40
4.	Resultados e discussão	42
4.1	Análise estatística dos dados históricos	42
4.2	Cálculo das eficiências de redução microbiológica	56
4.3	Cálculo dos CT da ETA de Tavira	70
5.	Conclusão e recomendações finais	72
6.	Referências bibliográficas	75

Índice de Figuras

	Página
Figura 1 – Inactivação de 99% de bactérias e vírus em função da quantidade de cloro livre activo (FAC – Free Active chlorine) e do tempo (WHO, 2004)	33
Figura 2 – Esquema de tratamento da ETA de Tavira (Silva, 2007)	37
Figura 3 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bactérias coliformes medido em u.f.c/100mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	43
Figura 4 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de <i>Clostridium perfringens</i> medido em u.f.c/100mL na AB, AO, AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	44
Figura 5 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de <i>E.coli</i> medido em u.f.c/100mL na AB, AO, AT nos anos 2006, 2007 e 2008.	45
Figura 6 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Enterococcus medido em u.f.c/100mL na AB, AO e AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	46
Figura 7 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Número de colónias a 22°C medido em u.f.c /mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	47
Figura 8 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Número de colónias a 37°C medido em u.f.c/mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	48
Figura 9 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> medido em u.f.c/100mL na AB, AO e AT tratada da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	49
Figura 10 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bacteriófagos <i>B. fragilis</i> realizado em Laboratório externo medido em u.f.p/mL na AB e AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.	50
Figura 11 -Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de <i>Bacteriófago FRNA</i> realizado em Laboratório externo medido em u.f.p/mL na AB e AT nos anos 2006, 2007 e 2008.	51
Figura 12 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bacteriófagos somáticos realizado em Laboratório externo medido em u.f.p/mL na AB e AT nos anos 2006, 2007 e 2008.	51
Figura 13 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) dos Enterovirus realizados em laboratório externo medido em u.f.p/100mL na AB e AT nos anos 2006 e 2007.	52

Figura 14 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Fitoplâncton Cyanophyceae* medido em células/mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008. 53

Figura 15 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Cryptosporidium* realizados em laboratório externo medido em Organismos/L na AB, AO, AT nos anos 2006, 2007 e 2008. 54

Figura 16 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Giardia lamblia* realizado em Laboratório externo medido em organismos/L na AB, AO e AT nos anos 2006, 2007 e 2008. 55

Figura 17 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Bactérias coliformes a) parcial de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 57

Figura 18 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *Clostridium perfringens* a) parcial de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 58

Figura 19 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *E.coli* a) parcial de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo 59

Figura 20 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *Enterococcus* a) pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 59

Figura 21 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *Pseudomonas aeruginosa* a) etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 60

Figura 22 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Número de colónias a 22°C a) etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 61

Figura 23 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Número de colónias a 37°C a) etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 62

Figura 24 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Fitoplancton *Cyanophyceae* a) pré-oxidação, b) global ao longo do tempo. 63

Índice de Quadros

	Página
Quadro 1 - Características microbiológicas do produto “Água para Consumo Humano. Variante: sistemas de abastecimento público em alta”.	19
Quadro 2 - Expressão da dose de oxidante (CT) em termos da eficiência de redução esperada da concentração de formas activas de agentes biológicos.	23
Quadro 3 – Classificação dos BF	24
Quadro 4 - Valores de CT para inactivação de cistos de <i>Giardia</i> .	25
Quadro 5 - Valores de CT para inactivação de vírus.	25
Quadro 6 - Valores de CT [(mg.min)/L] para atingir uma inactivação 99,9 por cento (3 log) de <i>Giardia lamblia</i>	26
Quadro 7 - Valores de CT [(mg.min)/L] para atingir uma inactivação 90 por cento (1 log) de <i>Giardia lamblia</i> .	26
Quadro 8 - Valores CT [(mg. min)/L)] para Alcançar Inactivação de vírus a pH de 6 a 9.	27
Quadro 9 - Operação de desinfecção com diferentes agentes desinfectantes e remoção dos diferentes microrganismos.	34
Quadro 10 – Resumo da tendência dos gráficos mínimos, médios e máximos na AB, AO e AT para os diferentes parâmetros	56
Quadro 11 – Resumo do comportamento dos parâmetros em função das eficiências de remoção.	64
Quadro 12 –Tipos de microrganismos que tiveram irregularidades em diferentes dias e parâmetros físico-químicos que podem ser as suas possíveis causas.	65
Quadro 13 – Média anual dos dados ao longo dos anos de 2006 a 2008, caudal de água, tempo teórico de contacto, tempo de contacto, taxa de ozono e cloro residual e calculo dos respectivos CT.	70

1.Introdução

A água é um bem ambiental indispensável às necessidades humanas básicas e ao desenvolvimento de actividades humanas, tendo influência decisiva na qualidade de vida das populações e na manutenção de ecossistemas.

O acesso seguro à água potável é essencial para a saúde, um direito humano básico e uma componente de uma política eficaz para a protecção da saúde.

Esta tese relaciona-se com o “ Estudo das capacidades de redução microbiológica nas etapas de pré-oxidação e global da estação de tratamento de água de Tavira”.

O objectivo deste estudo foi a identificação das diferentes capacidades de redução microbiológica perante cada grupo de microrganismos presente na água e para as condições operacionais das etapas de oxidação química e de desinfecção disponíveis na ETA de Tavira, nos anos de 2006 a 2008.

1.1Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos: introdução, revisão do estado de arte, metodologia, resultados e discussão, conclusão e recomendações finais e referências bibliográficas.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão do estado de arte. São abordados os grupos de microrganismos presentes na água, microrganismos indicadores da qualidade da água, os requisitos para a conformidade da água para consumo humano e as etapas de eliminação/remoção dos microrganismos.

No capítulo 3 explicita-se a metodologia dos trabalhos para estudo e apresenta-se a caracterização das condições operacionais. Feito o estudo e análise do histórico dos resultados da qualidade da água para o período em análise e é efectuada a verificação e cálculo das capacidades de redução microbiológica.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos e a interpretação/discussão destes.

No capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões do trabalho e recomendações finais.

No capítulo 6 são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na elaboração do trabalho.

2.Revisão do estado de arte

A Organização Mundial de Saúde (OMS) fornece orientações para a segurança da água potável. As orientações destinam-se a apoiar o desenvolvimento e implementação de estratégias de gestão de riscos que vão garantir a segurança da água potável fornecida. Estas estratégias podem incluir normas nacionais ou regionais desenvolvidas a partir da base científica fornecidas nas orientações, descrevem uma metodologia de verificação da conformidade das características da água abastecida com valores numéricos pré-estabelecidos, para componentes da água ou dos indicadores da qualidade de água (WHO, 2006).

A fim de definir limites imperativos, é preferível considerar as directrizes no contexto de circunstâncias ambientais, sociais, económicas e culturais locais ou nacionais.

Os aspectos microbiológicos são um dos factores mais preocupantes no tratamento de água para consumo humano.

Garantir a segurança microbiológica de água potável é baseada no uso de múltiplas barreiras, da captação ao consumidor, para evitar a contaminação de água potável ou para reduzir a contaminação a níveis não prejudiciais à saúde. A segurança é reforçada em várias barreiras que estão em vigor, incluindo a protecção dos recursos hídricos, uma boa selecção e operação de uma série de etapas do tratamento e gestão dos sistemas de distribuição (canalizada ou não) para manter e proteger a qualidade da água tratada. A estratégia preferida é uma abordagem de gestão que coloca a ênfase principal em prevenir ou reduzir a entrada de agentes patogénicos em fontes de água e reduzir a dependência do tratamento para remoção de agentes patogénicos (WHO, 2006).

Em geral, os grandes riscos microbianos são associados com a ingestão da água que é contaminada com as fezes do ser humano ou do animal (que inclui o pássaro). As fezes podem ser uma fonte de bactérias patogénicas, de vírus, de protozoários e de helmintas (WHO, 2006).

A qualidade microbiana da água varia muitas vezes, rapidamente e numa vasta gama, de curto prazo em picos de concentração de patogénicos que podem aumentar razoavelmente os riscos de doença (WHO, 2006).

A incapacidade de garantir a segurança de água potável pode expor a comunidade ao risco de surtos de doenças infecciosas intestinais e outros. Os focos de doenças com origem em água potável devem ser evitados a todo o custo, devido à sua capacidade de provocar a

infecção simultânea de um grande número de pessoas e potencialmente de uma elevada proporção da comunidade (WHO, 2006).

Os efeitos da exposição a agentes patogénicos não são os mesmos para todos os indivíduos ou, como consequência, para todas as populações. A exposição repetida a um patogénico pode estar associada a uma menor probabilidade ou gravidade da doença devido aos efeitos da imunidade adquirida (WHO, 2006).

As fichas técnicas sobre os potenciais agentes patogénicos incluem informações sobre efeitos na saúde humana, as fontes e ocorrência, vias de transmissão e do significado na água potável como fonte de infecção. As fichas técnicas sobre microrganismos que podem ser utilizados como indicadores da eficácia das medidas de controlo, ou como índices para a possibilidade da presença de microrganismos patogénicos fornecem informações sobre valor indicador, origem e ocorrência, a aplicação e o significado de detecção (WHO, 2006).

2.1 Grupos de microrganismos presentes na água

Alguns dos agentes patogénicos que são conhecidos por serem transmitidos através de água potável contaminada conduzem a graves doenças, por vezes com risco de vida.

A classificação dos organismos patogénicos emergentes é feita de acordo com o principal grupo de microrganismos ao qual pertencem.

2.1.1 Bactérias patogénicas

As bactérias são organismos unicelulares tipicamente variando em tamanho de 0,1 a 10 µm. Componentes, o tamanho e a forma como crescem podem caracterizar a estrutura física da célula bacteriana. A maioria das bactérias pode ser agrupada por forma em quatro categorias gerais: esferóide, haste, haste curvada ou espiral, e filamentosos. *Cocci*, ou bactérias esféricas, têm cerca de 1 a 3 µm de diâmetro. Bacilos (bactérias em forma de haste) são variáveis em tamanho na gama de 0,3 a 1,5 µm de largura (ou diâmetro) e de 1,0 a 10,0 µm de comprimento. Vibriões, ou bactérias em forma de haste curva, normalmente variam em tamanho de 0,6 a 1,0 µm de largura (ou diâmetro) e de 2 a 6 µm de comprimento. *Spirilla* (bactérias espiraladas) podem ser encontradas em comprimentos de até 50 µm e bactérias filamentosas que podem ocorrer com comprimentos superiores a 100 µm (EPA, 1999).

A maioria das bactérias patogénicas transmitidas por água infecta potencialmente o tracto gastrointestinal e são excretadas nas fezes de pessoas infectadas e de outros animais. No

entanto, existem também outras bactérias patogénicas transmissíveis por via hídrica, tais como *Legionella*, *Burkholderia pseudomallei* e micobactérias atípicas, que podem crescer na água e no solo. As vias de transmissão dessas bactérias incluem inalação e contacto (banho), com infecções que ocorrem no tracto respiratório, lesões na pele ou no cérebro (WHO, 2006).

O quadro A1 (em anexo) apresenta doenças transmitidas por água através de bactérias.

2.1.2Vírus

Os vírus são seres subcelulares compostos por material genético de ácido desoxirribonucleico (DNA) ou ácido ribonucleico (RNA) e uma cápsula protectora de proteína. Todos os vírus são de origem parasita, incapazes de realizar autonomamente qualquer tipo de metabolismo sendo assim dependentes de células hospedeiras para a sua replicação. Os vírus têm normalmente 0,01 a 0,1 µm de tamanho, são muito específicos no que diz respeito à infecção, geralmente atacando apenas um tipo de hospedeiro (EPA, 1999).

Vírus associados com a transmissão por via aquática são predominantemente aqueles que podem infectar o tracto gastrointestinal e são excretados nas fezes de pessoas infectadas (vírus entéricos) (WHO, 2006).

Embora os principais modos de transmissão para o vírus da hepatite B e poliomielite sejam através dos alimentos, contacto pessoal, ou troca de fluidos corporais, estes vírus podem ser transmitidos através da água potável. Alguns vírus, como o retrovírus (incluindo o grupo HIV), parecem ser demasiado frágeis para que a transmissão pela água seja um perigo significativo para a saúde pública (EPA, 1999).

O quadro A2 (em anexo) representa os diferentes vírus, respectivas alterações patológicas em pacientes através de doenças transmitidas por água contaminada por este grupo patogénico.

2.1.3Protozoários

Os protozoários são seres eucariotas, sem paredes celulares que utilizam bactérias e outros organismos para a alimentação. A maioria dos protozoários são de vida livre na natureza e podem ser encontrados na água, porém, várias espécies são parasitas e vivem em organismos hospedeiros. Organismos hospedeiros podem variar de organismos simples, como algas até organismos altamente complexos, como seres humanos (EPA, 1999).

Protozoários e helmintas estão entre as causas mais comuns de infecção e doença em seres humanos e outros animais. As doenças têm um grande impacto na saúde pública e a nível socioeconómico. A água desempenha um papel importante na transmissão de alguns destes agentes patogénicos. O controlo da transmissão por via aquática apresenta desafios reais, porque a maioria dos agentes patogénicos produzem cistos, oocistos ou ovos que são extremamente resistentes aos processos geralmente utilizados para a desinfecção da água e, em alguns casos, podem ser difíceis de remover por processos de filtração (WHO, 2006).

Nos últimos 25 anos, o exemplo mais notável de uma doença emergente causada por um protozoário patogénico é criptosporidiose. Outros exemplos são as doenças causadas por microsporídeos e *Cyclospora* (WHO, 2006).

O quadro A3 (em anexo) representa as doenças transmitidas por água, os principais protozoários e respectivos sintomas.

2.2 Microrganismos indicadores da qualidade da água

A qualidade microbiológica na fonte de água ou eficiência do sistema de tratamento de remoção de microrganismos é assegurada pelas avaliações quantitativas sobre a remoção ou inactivação de microrganismos patogénicos e toxinas. Além disso, considera (e, se possível, quantifica) interacções entre os efeitos de diferentes processos de tratamento (WHO, 2004).

Devido a questões relacionadas com a complexidade, custo e oportunidade de obtenção de resultados de testes para detecção de patogénicos específicos é geralmente limitada a validação, em que a vigilância é utilizada para determinar se um tratamento ou outro processo é eficaz na eliminação de organismos alvo (WHO, 2006).

Muito ocasionalmente, testes aos patogénicos podem ser realizados para verificar se um tratamento específico ou processo foi eficaz. No entanto, testes microbianos são incluídos como parte operacionais e de verificação (incluindo a vigilância). O acompanhamento é geralmente limitado ao de organismos indicadores, tanto para medir a eficácia das medidas de controlo, ou como um índice de poluição fecal (WHO, 2006).

Seria difícil acompanhar rotineiramente os patogénicos na água. Isolamento e identificação de cada patogénico estão além da capacidade dos laboratórios de água e das empresas produtoras.

Além disso, o número de agentes em relação a outros microrganismos na água pode ser muito pequeno, exigindo assim um grande volume de amostra. Por estas razões, existem

organismos que são geralmente utilizados como um indicador da qualidade da água (AWWA, 1999).

Um indicador ideal deve satisfazer todos os seguintes critérios gerais (AWWA, 1999):

- Estar universalmente presente nas fezes dos seres humanos e animais em grandes números;
- Não se multiplicar em águas naturais;
- Não ser patogénico;
- Persistir em água de forma semelhante à patogénia fecal;
- Estar presente em maior número do que patogénicos fecais;
- Deverão ser adequados para todos os tipos de água potável;
- Respondem a processos de tratamento de forma semelhante aos patogénicos fecais;
- Ser facilmente detectado por métodos simples e baratos.

Vê-se que é praticamente impossível encontrar um microrganismo que atenda a todas essas características. É, portanto, necessário definir o que é importante e qual será o uso da água (Daniel, 2001).

Para a água potável, a ausência de patogénicos é exigência inegável. A prática de controlo microbiológico de qualidade da água para consumo fundamenta-se no controlo e na presença dos seguintes grupos (WHO, 2006):

2.2.1 Coliformes totais

Bactérias coliformes totais incluem uma vasta gama de aeróbios e anaeróbios facultativos, Gram-negativos, bacilos não formadores de esporos capazes de crescer na presença de concentrações relativamente elevadas de sais biliares fazendo a fermentação de lactose e produção de ácido e aldeído em de 24 h a 35-37 ° C. *Escherichia coli* e coliformes termotolerantes são um subconjunto do total do grupo coliforme que pode fermentar a lactose a temperaturas superiores. Como parte de fermentação de lactose, coliformes totais produzem a enzima β -galactosidase (WHO, 2006).

Tradicionalmente, bactérias coliformes foram consideradas como pertencentes aos géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, mas o grupo é mais

heterogéneo e inclui uma vasta gama de géneros, como *Serratia e Hafnia*, algumas destas bactérias são excretadas nas fezes dos seres humanos e animais (WHO, 2006).

Os coliformes são capazes de se multiplicar em ambientes hídricos e do solo.

2.2.1.1 Valor indicador

Coliformes totais incluem organismos que podem sobreviver e crescer em sistemas de distribuição de água, especialmente na presença de biofilmes. Assim, eles não são úteis como um índice de patogénicos fecais, mas podem ser usados como um indicador da eficácia do tratamento e para avaliar a limpeza e a integridade dos sistemas de distribuição e a possibilidade da presença de biofilme. Os coliformes totais são muito mais sensíveis à desinfecção do que os vírus entéricos e os protozoários (WHO, 2006).

2.2.1.2 Método de análise

Coliformes totais são geralmente medidos em amostras de 100 mL de água. Uma variedade de procedimentos relativamente simples estão disponíveis com base na produção de ácido a partir de lactose ou a produção da enzima β -galactosidase. Os procedimentos incluem filtração por membrana seguida de incubação das membranas sobre meios selectivos a 35-37 ° C e contagem de colónias após 24 h. Os métodos alternativos incluem procedimentos de número mais provável utilizando tubos ou microplacas e testes P / A. Kits de testes de campo estão disponíveis (WHO, 2006).

2.2.1.3 Significado na água potável

Coliformes totais deverão estar ausentes imediatamente após a desinfecção. A presença desses organismos indica tratamento inadequado. A presença de coliformes totais nos sistemas de distribuição e abastecimento de água armazenada pode revelar formação ou contaminação possível por biofilme através penetração de material estranho, incluindo solos ou plantas (WHO, 2006).

2.2.2 Coliformes fecais e *E. coli*

Bactérias coliformes fecais podem fermentar a lactose a $44,0 \pm 0,5$ ° C e são conhecidas como coliformes termotolerantes. Na maioria das águas, o género predominante é *Escherichia*, mas alguns tipos de *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* são também termotolerantes. *Escherichia coli* pode ser diferenciado de outros coliformes termotolerantes pela capacidade de produzir indol a partir de triptofano ou pela produção da enzima β -glucuronidase (WHO, 2006).

Escherichia coli está presente num número muito elevado em fezes humanas e animais e é raramente encontrada na ausência de poluição fecal, embora haja alguns indícios de crescimento em solos tropicais. Outras espécies de Coliformes termotolerantes, que não *E. coli*, podem incluir organismos ambientais (WHO, 2006).

2.2.2.1 Valor indicador

Escherichia coli é considerada o mais adequado índice de contaminação fecal. Na maioria dos casos, as populações de coliformes termotolerantes são compostas predominantemente por *E. coli*. Como resultado, este grupo é considerado como um índice de poluição fecal menos confiável, mas aceitável. *Escherichia coli* (ou, alternativamente, coliformes termotolerantes) é o primeiro organismo de escolha no acompanhamento dos programas de verificação, incluindo a vigilância de água potável de qualidade. Estes organismos são também utilizados como indicadores de desinfecção, mas o teste é muito lento e menos fiável do que a medida directa de desinfectante residual (WHO, 2006).

Além disso, *E. coli* é muito mais sensível à desinfecção do que os vírus entéricos e os protozoários (WHO, 2006).

2.2.2.2 Origem e ocorrência

Escherichia coli ocorre em números elevados em fezes humanas e animais, esgotos e água sujeita a poluição fecal recente. O crescimento destes organismos presentes no sistema de distribuição de água potável é altamente improvável devido às temperaturas da água e às condições de nutrientes (WHO, 2006).

2.2.2.3 Método de análise

Geralmente são medidos em amostras de 100 mL de água. Uma variedade de procedimentos relativamente simples estão disponíveis com base na produção de ácido e gás a partir de lactose ou a produção da enzima β -glucuronidase (WHO, 2006).

Os procedimentos incluem filtração por membrana seguida de incubação das membranas em meios selectivos a $44,0 \pm 0,5$ ° C e contagem de colónias após 24 h.

Os métodos alternativos incluem procedimentos de número mais provável utilizando tubos ou microplacas e testes P / A, alguns em volumes de água superiores a 100 mL. Kits de testes de campo estão disponíveis (WHO, 2006).

2.2.2.4 Significado na água potável

A presença de *E. coli* (ou, alternativamente, coliformes termotolerantes) fornece evidências de contaminação fecal recente, e a detecção deve conduzir à consideração de novas acções, que poderiam incluir uma maior amostragem e investigação de possíveis fontes, tais como tratamento inadequado ou violação na integridade do sistema de distribuição (WHO, 2006).

2.2.3 *Clostridium perfringens*

Clostridium spp. são Gram-positivas, anaeróbias, sulfito redutoras. Produzem esporos que são extremamente resistentes a condições desfavoráveis em ambientes aquáticos, incluindo radiação UV, temperatura e pH extremos, processos de desinfecção, como a cloração. *C. perfringens* é um membro da microbiota intestinal normal 13-35% dos seres humanos e outros animais. Outras espécies não são exclusivamente de origem fecal. Tal como *E. coli*, *C. perfringens* não se multiplicam na maioria dos ambientes aquáticos e é um indicador altamente específico de poluição fecal (WHO, 2006).

2.2.3.1 Valor indicador

Em virtude da excepcional resistência de esporos de *C. perfringens* aos processos de desinfecção e outras condições ambientais desfavoráveis, este microrganismo tem sido proposto como um índice de vírus entéricos e protozoários em tratamento de água potável. Além disso, *C. perfringens* pode servir como um índice de poluição fecal, que teve lugar anteriormente e, por conseguinte, indicar as fontes intermitentes possíveis de

contaminação. *Clostridium perfringens* não é recomendado para rotina de acompanhamento. Esporos de *Clostridium perfringens* são menores que (oo)cistos de protozoário e podem ser úteis como indicadores da eficácia dos processos de filtração. A redução de quantidade de esporos de *C. perfringens* na água pode ser considerada para validação dos processos, mas não para monitorização rotineira (WHO, 2006).

2.2.3.2 Origem e ocorrência

Clostridium perfringens e seus esporos estão quase sempre presentes em águas residuais. O organismo não se multiplica em ambientes aquáticos. *Clostridium perfringens* está presente com mais frequência e em maior número nas fezes de alguns animais, tais como cães, do que nas fezes dos seres humanos e menos frequentemente nas fezes de muitos outros animais de sangue quente. Os números excretados nas fezes normalmente são substancialmente mais baixos do que os de *E. coli* (WHO, 2006).

2.2.3.3 Método de análise

Células vegetativas e esporos de *C. perfringens* são geralmente detectados por técnicas de filtração em membrana e as membranas são incubadas em meios selectivos sob rigorosas condições anaeróbicas. A detecção por estas técnicas não é tão simples e barata como os de outros indicadores, tais como *E. coli* e *Enterococcus* (WHO, 2006).

2.2.3.4 Significado na água potável

A presença de *C. perfringens* em água potável pode ser um índice de contaminação fecal intermitente. Fontes potenciais de contaminação devem ser investigadas. Processos de filtração concebidos para remover vírus entéricos ou protozoários também deveriam remover *C. perfringens*. A detecção do microrganismo na água, imediatamente após o tratamento, deverá conduzir a uma investigação do desempenho do procedimento (WHO, 2006).

2.2.4 Contagem de microrganismos heterotróficos em placa/ Heterotrophic Plate Count (HPC)

Medição HPC detecta um amplo espectro de microrganismos heterotróficos, incluindo bactérias e fungos, com base na capacidade dos organismos de crescer em meios de crescimento ricos, sem inibidor selectivo, incubação durante um determinado período e uma temperatura definida. O espectro de organismos detectados pelo teste HPC inclui organismos sensíveis aos processos de desinfecção, tais como bactérias coliformes; organismos resistentes formadores de esporos e organismos que proliferam rapidamente em água tratada, na ausência de resíduos de desinfectantes. Os testes detectam apenas uma pequena proporção dos microrganismos que estão presentes na água. A população vai diferir de acordo com o método e as condições aplicadas. Embora tenham sido desenvolvidos métodos padrão, não existe uma única medida universal HPC (WHO, 2006).

Medições HPC detectam uma gama mais vasta de microrganismos e é geralmente considerado um indicador melhor da integridade e limpeza do sistema de distribuição (WHO, 2006).

Os períodos de incubação efectuam-se às temperaturas de 22 °C e 37 °C durante algumas horas ou até 7 dias ou mais (WHO, 2006).

2.2.4.1 Valor indicador

O teste tem pouco valor como um índice de presença de patogénicos, mas pode ser útil no acompanhamento operacional de um tratamento como indicador de desinfecção, onde o objectivo é manter números tão baixos quanto possível. Além disso, a medição de HPC pode ser utilizada para avaliar a limpeza e integridade dos sistemas de distribuição e presença de biofilmes (WHO, 2006).

2.2.4.2 Origem e ocorrência

Microrganismos heterotróficos incluem tanto os membros da microbiota de ambientes aquáticos e organismos presentes numa variedade de fontes de poluição. Ocorrem em grandes números nos recursos hídricos em bruto. Os verdadeiros organismos detectados pelos testes HPC variam muito entre locais e entre amostras consecutivas. Alguns processos de tratamento

de água potável, tais como a coagulação e sedimentação, reduzem o número de organismos HPC na água. No entanto, os organismos proliferam noutros processos de tratamento, tais como filtros de carvão com actividade biológica e filtros de areia. Números de organismos HPC são reduzidos significativamente por processos de desinfecção, tais como a cloração, ozonização e irradiação por radiação UV. Organismos HPC podem crescer em superfícies em contacto com a água como biofilmes. Os principais determinantes do crescimento ou "regeneração" são temperatura, disponibilidade de nutrientes, incluindo o carbono orgânico assimilável, a falta de desinfectante residual e estagnação (WHO, 2006).

2.2.4.3 Método de análise

Não são exigidos técnicos de laboratório com experiência elevada para realização desta técnica. Dependente das características do procedimento usado, obtêm-se resultados simples, disponíveis dentro de horas ou dias através da inoculação de placas de ágar (WHO, 2006).

2.2.4.4 Significado na água potável

Após a desinfecção, os resultados do teste HPC idealmente obtidos deveriam ser reduzidos, no entanto, existem resultados positivos em determinados locais. Nos sistemas de distribuição, a presença de resultados positivos podem resultar de uma limpeza desadequada, estagnação e do desenvolvimento de biofilmes.

O teste HPC abrange o crescimento dos agentes patogénicos, tais como *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Moraxella*, *Serratia*, *Pseudomonas* e *Xanthomonas*.

No entanto, não há evidência de uma associação de qualquer destes organismos com infecção gastrointestinal, através da ingestão de água potável da população em geral (WHO, 2006).

2.2.5 Colifagos

Bacteriófagos (fagos) são vírus que utilizam apenas bactérias como hospedeiros para replicação.

Colifagos utilizam *E.coli* e espécies estreitamente relacionadas como hospedeiros e, portanto, podem ser libertadas por estas bactérias nas fezes dos seres humanos e outros animais de sangue quente (WHO, 2006).

Na avaliação da qualidade das águas os colifagos utilizados estão divididos em dois grupos principais: somáticos e F-RNA. Diferenças entre os dois grupos incluem a via de infecção (WHO, 2006).

2.2.5.1 Origem e ocorrência

Os Colifagos são excretados pelo homem e por animais em números relativamente baixos. Como resultado dos seus respectivos modos de reprodução e de especificidade do hospedeiro, os colifagos somáticos são geralmente excretados pela maioria dos seres humanos e animais, enquanto os colifagos F-RNA são excretados por uma variável e geralmente menor percentagem de seres humanos e animais. Os dados disponíveis indicam que, em algumas comunidades, os colifagos F-RNA são detectáveis em 10% dos humanos, 45% dos bovinos, 60% dos suínos e 70% de aves de capoeira. Colifagos somáticos foram encontrados e geralmente superam os colifagos F-RNA em ambientes aquáticos por um factor de cerca de 5 vezes. O esgoto contém colifagos somáticos em números da ordem de 10^6 - 10^8 por litro. Há indicações de que os fagos F-RNA podem-se multiplicar no esgoto, e colifagos somáticos multiplicam-se em ambientes aquáticos naturais através de hospedeiros. Fagos somáticos e os fagos F-RNA têm sido detectados em números até 10^5 por litro, em águas fluviais e nos lagos (WHO, 2006).

2.2.5.2 Método de análise

Colifagos Somáticos são detectáveis por ensaios em placa relativamente simples e baratos que produzem resultados dentro de 24 h. No caso dos colifagos F-RNA os ensaios em Placa não são simples, porque a cultura de bactérias hospedeiras tem que estar na fase exponencial de crescimento, a uma temperatura superior de 30 ° C para garantir que as F-fímbrias estejam presentes. Os ensaios em placa foram concebidos para a enumeração

quantitativa, placas com amostras de 100 mL, e têm sido desenvolvidos testes P/A para volumes de água de igual ou superior a 500 mL (WHO, 2006).

2.2.5.3 Significado na água potável

Os colifagos normalmente replicam-se no tracto gastrointestinal de humanos e animais de sangue quente, a sua presença na água potável, prevê um índice de poluição fecal e, conseqüentemente, a possibilidade da presença de vírus entéricos e possivelmente também outros patogénicos. A presença de colifagos na água potável também indica falhas nos processos de desinfecção e tratamentos destinados a remover vírus entéricos. Os colifagos F-RNA fornecem mais um índice específico de poluição fecal. A ausência de colifagos na água tratada não confirma a ausência de agentes patogénicos, tais como vírus entéricos e protozoários parasitas (WHO, 2006).

2.2. 6 Fagos de *Bacteroides fragilis*

O género bacteriano *Bacteroides* habita o tracto gastrointestinal humano em maior número do que *E. coli*. Fezes podem conter 10^9 - 10^{10} *Bacteroides* por grama em comparação com 10^6 - 10^8 *E. coli*, por grama. *Bacteroides* é rapidamente inactivado pelos níveis de oxigénio do ambiente, mas bacteriófagos de *Bacteroides* são resistentes a condições desfavoráveis. Dois grupos de fagos *B. fragilis* são utilizados como indicadores na avaliação da qualidade das águas. Um deles é um grupo restrito de fagos que especificamente utiliza estirpe *B. fragilis* HSP40 como hospedeiro. Este grupo de fagos aparece, porque ele é encontrado apenas em fezes humanas e não nas fezes de outros animais. Os números desses fagos no esgoto parecem ser relativamente baixos, e são quase inexistentes em algumas áreas geográficas. O fagos *B. fragilis* HSP40 pertencem à família *Siphoviridae*, têm caudas flexíveis não contráteis, cadeia de DNA e cápsulas com um diâmetro de até 60nm. O segundo grupo de fagos *Bacteroides* utilizado como indicador é aquele que usa a estirpe *B. fragilis* RYC2056 como hospedeiro. Este grupo inclui um espectro substancialmente mais amplo de fagos, ocorrendo nas fezes dos seres humanos e muitos outros animais. Os números desses fagos em esgotos são, em geral substancialmente mais elevados do que as de fagos *B. fragilis* HSP40 (WHO, 2006).

2.2.6.1 Valor indicador

Bacteriófagos *Bacteroides* têm sido propostos como possível índice de poluição fecal devido à sua associação específica com material fecal e excepcional resistência às condições ambientais. Fagos *Bacteroides fragilis* B40-8, um típico membro do grupo de fagos *B. fragilis* HSP40, mostrou ser mais resistente à inativação por cloro do que poliovírus tipo 1, rotavírus símio SA11, colifagos F2, *E. coli* e *Streptococcus faecalis* (WHO, 2006).

Fagos *Bacteroides fragilis* estirpe RYC2056 parecem ser também relativamente resistentes à desinfecção.

Devido às limitações de bacteriófagos *Bacteroides*, eles são mais utilizados em laboratórios de investigação, ensaios-piloto e eventualmente testes de validação. Os bacteriófagos *Bacteroides* não são adequados para verificação ou acompanhamento operacional (incluindo a vigilância) (WHO, 2006).

2.2.6.2 Método de análise

As principais desvantagens do uso dos métodos de detecção de fagos *B. fragilis* são a maior complexidade e preço mais elevado em relação aos colifagos. Os custos são aumentados pela necessidade de utilizar antibióticos para fins de seleção, para incubar culturas e para ensaios em placa sob condições anaeróbicas absolutas. Resultados estão geralmente disponíveis aproximadamente em 24 h, em comparação com as 8h para os colifagos (WHO, 2006).

2.2.7 Vírus entéricos

Os vírus entéricos são um grupo combinado daqueles que infectam o tracto gastrointestinal do homem e são predominantemente transmitidos pela via fecal-oral.

Os vírus entéricos cobrem um amplo espectro de vírus, que são membros de uma das principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. Os membros do grupo de vírus entéricos diferem no que diz respeito à estrutura, composição, ácidos nucleicos e morfologia. Há também diferenças no número e frequência de excreção, a sobrevivência no ambiente e de resistência aos processos tratamento da água. Vírus entéricos têm invólucro (cápside) robusto que lhes permitem sobreviver em condições desfavoráveis do ambiente, bem como permitir a passagem pelas condições ácidas e proteólise no estômago no seu caminho para o duodeno, onde são susceptíveis infectar células epiteliais (WHO, 2006).

2.2.7.1 Valor indicador

A utilização de vírus entéricos como indicador ou índice de contaminação baseia-se sobre as lacunas das actuais escolhas. A sobrevivência das bactérias fecais na água e a sensibilidade ao tratamento e processos desinfecção diferem substancialmente dos vírus entéricos. O controlo com base num ou mais representantes do grupo de vírus entéricos seria mais abrangente para a avaliação da presença dos vírus entéricos na água e obter uma resposta de controlo (WHO, 2006).

2.2.7.2 Origem e ocorrência

Os Vírus entéricos são excretados por indivíduos no mundo inteiro, com bastante frequência e em números elevados nas águas residuais. As variações das taxas de infecção e excreção variam na medida dos grupos de indivíduos afectados, os números mais elevados de vírus estarão presentes durante surtos (WHO, 2006).

2.2.7.3 Método de análise

Métodos práticos ainda não estão disponíveis para a monitorização rotineira do abastecimento de água para um amplo espectro de vírus entéricos. Os vírus mais facilmente detectáveis incluem os grupos enterovírus, adenovírus e *orthoreovirus*. Estes vírus desenvolvem-se em ambientes poluídos, em números relativamente elevados e podem ser detectados por técnicas razoavelmente práticas e de custos moderados baseadas em efeito citopatogénico em culturas de células que produzem resultados aproximadamente entre 3 e 12 dias (dependendo do tipo de vírus). Além disso, os progressos na tecnologia e a experiência estão a diminuir os custos. O custo para a recuperação de vírus entéricos de grandes volumes de água potável foi reduzido consideravelmente. Exemplo de uma técnica barata é adsorção-eluição em lã de vidro. O custo dos procedimentos de cultivo celular também tem sido reduzido. Consequentemente, o custo do teste para vírus citopatogénicos em água potável tornou-se aceitável para determinados fins (WHO, 2006).

O teste poderá ser utilizado para validar a eficácia do tratamento e, em determinadas circunstâncias, como parte de investigações específicas, a fim de verificar o desempenho de processos. Os custos de incubação e a relativa complexidade dos testes significam que os vírus entéricos não são adequados para a verificação ou acompanhamento operacional (incluindo a vigilância) (WHO, 2006).

2.2.7.4 Significado na água potável

A eventual presença de vírus entéricos na água potável deve ser considerada como um índice para a possibilidade da presença de outros vírus entéricos, poluição de fezes e também fornece indícios de falhas nos processos de desinfecção e tratamento da água (WHO, 2006).

2.2.8 *Giardia lamblia*

Giardia lamblia é um protozoário flagelado microscópico que parasita o intestino dos mamíferos, inclusive de seres humanos. Este flagelado pode viver no estado livre, em lagos ou ribeiras, durante bastante tempo. *Giardia* tem um ciclo de vida relativamente simples e os cistos são em forma oval com 8-12µm de diâmetro (WHO, 2006)

A giardiase tornou-se a causa mais frequente de doenças transmitidas por via hídrica, seja por consumo de águas brutas e águas tratadas (Ferreira e Sousa, 1998).

Os cistos de *Giardia* têm uma distribuição sazonal e os processos habituais de tratamento de água, entre os quais se encontram a utilização de coagulantes, filtração rápida e desinfecção química não removem o microrganismo (Ferreira e Sousa, 1998).

2.2.8.1 Significado na água potável

Giardia foi a causa mais comum de surtos identificados no E.U.A.

Os cistos de *Giardia* são mais resistentes que bactérias, usando como por exemplo cloro como agente desinfectante. O tempo necessário para se obter 90% de inativação usando cloro residual de 1mg/L é cerca 25-30 minutos.

A resistência de cistos em relação ao desinfectante para inativação de *E. coli* não pode ser um indicador presença/ausência de *Giardia* na água potável (WHO, 2006).

2.2.9 *Cryptosporidium*

Cryptosporidium é conhecido como um dos maiores causadores de doenças transmitidas por água, podendo também ser encontrado no solo, alimentos e superfícies contaminada por fezes (WHO, 2006).

Cryptosporidium é um protozoário coccídeo, parasita intracelular intestinal que infecta diversas espécies.

O parasita possui uma camada protectora que lhe permite sobreviver fora do hospedeiro por muito tempo, além de o proteger contra a desinfecção. Possui dimensões menores que *Giardia* cerca de 4-6 µm de diâmetro (Ferreira e Sousa, 1998).

2.2.9.1. Significado na água potável

Devido a surtos causados por *Cryptosporidium* em grande escala foi necessário estabelecer mais atenção à capacidade de contaminação na água potável.

A redução dos riscos da contaminação poderá ser travada através de medidas que realizem um controlo de focos originais da contaminação por humanos. Os oocistos são extremamente resistentes à etapa de desinfecção contudo estudos efectuados por investigadores relatam que a etapa de irradiação por UV inactiva os oocistos (WHO, 2006).

2.3 Conformidade da água para consumo humano

Nesta secção encontram-se os requisitos legais da água para consumo humano, estipulados no Decreto de Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto de 2007 de acordo com os valores paramétricos estabelecidos e os requisitos da Especificação de Produto: “Água para Consumo Humano, Variante: sistemas de abastecimento público em alta, definidos na ERP 5001/4 (APCER), de acordo com os limites de aceitação definidos, tendo-se estudado apenas a conformidade microbiológica da água.

De acordo com a legislação em vigor, o controlo é definido por controlo de rotina e de inspecção. O controlo de rotina tem como objectivo fornecer regularmente informações sobre a qualidade organoléptica e microbiológica da água destinada ao consumo humano, bem como sobre a eficácia dos tratamentos existentes, especialmente a desinfecção, tendo em vista determinar a conformidade da água com os valores paramétricos estabelecidos no Decreto de Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto de 2007 que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano. O controlo de inspecção tem como objectivo obter informações necessárias para verificar o cumprimento dos valores paramétricos.

Os requisitos do produto “água para consumo humano” são características da qualidade da água para consumo humano que asseguram que não se colocará em risco a saúde, será agradável ao paladar e à vista dos consumidores, e não causará a deterioração ou destruição das diferentes partes do sistema de abastecimento.

O quadro 1 apresenta as características microbiológicas da água e os limites de aceitação de acordo com a especificação do produto “água para consumo humano”.

Quadro 1 - Características microbiológicas do produto “Água para Consumo Humano. Variante: sistemas de abastecimento público em alta.

Parâmetros Microbiológicos	Limites de aceitação
Número de Colônias a 22°C	Sem alteração anormal
Número de Colônias a 37 °C	Sem alteração anormal
Bactérias coliformes	0 ufc/ 100 mL
Bacteriófagos	0 ufp/ 100 mL
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0 ufc/ 100 mL
<i>Cryptosporidium parvum</i>	1 oocisto / 10L
<i>Enterococcus</i>	0 ufc/ 100 mL
Enterovirus	0 ufc/ 100 mL
<i>E.coli</i>	0 ufc/ 100 mL
<i>Giardia lamblia</i>	0 cistos/ 10L
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0 ufc/ 100 mL
<i>Salmonella</i>	Ausência / 2 L

Fonte: APCER, 2008, Decreto-lei 1º serie, Nº164, 2007

Os parâmetros microbiológicos têm que ser analisados de acordo com normas segundo o Decreto-lei 1º serie, Nº164, 2007 para a água tratada:

- Bactérias coliformes e *E. coli* (ISO 9308-1);
- *Enterococcus* (ISO 7899-2);
- *Pseudomonas aeruginosa* (EN ISO 12780);
- Enumeração de microrganismos viáveis – Número de colónias a 22°C (EN ISSO 6222);
- Enumeração de microrganismos viáveis – Número de colónias a 37°C (EN ISSO 6222);
- *Clostridium perfringens*, incluindo esporos (EN ISO 26461-2).

2.4 Etapas de eliminação/remoção dos microrganismos na água

Nas ETA's convencionais, o controlo de agentes biológicos é sobretudo feito através da sua inactivação recorrendo à desinfecção com oxidantes químicos na pré-oxidação (e.g ozono, dióxido de cloro) e na desinfecção final (e.g cloro, dióxido de cloro) (AdA e LNEC, 2007).

Por desinfecção entende-se a inactivação ou remoção de uma parte significativa do número de agentes biológicos presentes na água. A diminuição assim obtida do número de agentes biológicos activos é geralmente expressa pela redução destes em percentagem ou em números de log (AdA e LNEC, 2007).

A eficiência da desinfecção é geralmente expressa matematicamente com base na equação de Chick-Watson, (AWWA, 1999).

— Equação 1

Onde,

N_0 - concentração de formas activas inicialmente presentes;

N - concentração destas após desinfecção;

k' - constante independente da concentração de desinfectante;

n - constante dependente coeficiente de diluição;

C – concentração de agente desinfectante (mg/L);

t - tempo de desinfecção(min).

As opções estratégicas que podem ser tomadas no que respeita à selecção de um pré-oxidante e de um desinfectante final relacionam-se com as potencialidades do oxidante, características da água a tratar e com o sistema de tratamento implementado (AdA e LNEC, 2007).

A escolha da melhor estratégia depende dos seguintes aspectos: garantir a qualidade da água em termos de microrganismos patogénicos; minimizar a formação de DBP, em particular os indesejáveis (AdA e LNEC, 2007).

O tratamento para inactivar microrganismos patogénicos na água potável utiliza diferentes processos de desinfecção. Considera-se os seguintes processos de desinfecção (WHO, 2004):

- Pré-tratamento de Oxidação - oxidantes que são adicionados à água, no início de processo de tratamento.
- Desinfecção Primária - um componente comum de tratamento primário de água potável, é importante, porque o filtro granular não remove todos os micróbios patogénicos da água.
- Desinfecção Secundária - usado para manter a qualidade da água obtidos na instalação de tratamento ao longo de todo o sistema de distribuição até à torneira.

Pesquisas recentes têm mostrado que os desinfectantes químicos, por serem oxidantes muito fortes, podem gerar alguns subprodutos da desinfecção que, apesar da pequena concentração, podem prejudicar os utilizadores da água tratada.

Pode-se classificar estes subprodutos em (Daniel, 2001):

- Compostos orgânicos halogenados, como THM, ácidos haloacéticos, halocetonas e outros resultantes da cloração (Daniel, 2001).
- Outros compostos orgânicos, como aldeídos, cetonas, carbono orgânico assimilável e carbono orgânico biodegradável, associados ao uso de ozono ou de cloro (Daniel, 2001).
- Compostos inorgânicos, como cloritos e cloratos, associados ao dióxido de cloro, gerados quando o dióxido de cloro é exposto à luz solar, e o bromato, associado à ozonização (Daniel, 2001).

A acção dos desinfectantes sobre os microrganismos pode dar-se sob três mecanismos diversos (Daniel, 2001):

- Destruição ou danificação da organização estrutural da célula – o desinfectante actua sobre os constituintes da parede celular, que são destruídos ou danificados, gerando disfunções na acção da membrana semipermeável. O desinfectante age, ainda, combinando-se com os ácidos ribonucleicos, no interior do núcleo ou do citoplasma;
- Interferência no nível energético do metabolismo – ocorre pela inactivação de enzimas, competição com substratos de enzimas, etc.
- Interferência na biossíntese e crescimento devido à combinação de vários mecanismos, como síntese de proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas ou parede celular (Daniel, 2001).

No tratamento de água, os dois tipos preponderantes de mecanismos de desinfeção são a oxidação, com posterior ruptura da parede celular, e a difusão no interior das células, com conseqüente interferência na actividade celular. Assim, a capacidade para oxidar as moléculas biológicas e a capacidade de difusão, através da parede celular, são pré-requisitos essenciais para qualquer agente desinfectante ser considerado eficiente (Daniel, 2001).

Segundo AWWA (1999), o cloro e os seus compostos atacam as actividades respiratórias, o transporte através da parede celular e os ácidos nucleicos de bactérias. No caso dos vírus, o mecanismo parece ser o desarranjo dos ácidos nucleicos. Os poliovírus sofrem ataque na proteína da capa externa. No caso do dióxido de cloro, a inactivação de bactérias tem sido atribuída à perturbação da síntese de proteínas. Por outro lado, o ozono ataca os ácidos nucleicos das células bacterianas.

Os principais factores que afectam a desinfeção são:

- Concentração de agente desinfectante
- Tempo de contacto
- Temperatura
- pH

A concentração residual de agente desinfectante e o tempo de contacto determinam a cinética de desinfeção, e a aplicação prática do conceito CT (concentração a multiplicar pelo tempo de contacto) (WHO, 2004).

Para condições específicas de temperatura e pH, a dose de um dado desinfectante que é prescrita para obter uma determinada eficiência de desinfecção é geralmente expressa de acordo com o exemplificado no quadro 2 (AdA e LNEC, 2007).

Quadro 2 - Expressão da dose de oxidante (CT) em termos da eficiência de redução esperada da concentração de formas activas de agentes biológicos.

CT	% Remoção	log redução
CT ₉₀	90,00	1
CT ₉₉	99,00	2
CT _{99,9}	99,90	3
CT _{99,99}	99,99	4

Fonte: AdA e LNEC, 2007

Para além do facto da maior parte dos valores de CT que se encontram publicados terem sido obtidos com testes laboratoriais ou piloto e, portanto, não reflectirem as condições reais das ETA's, há ainda que ter em conta que no modelo de Chick-Watson o tempo de contacto (t) é relativo a formas (e.g. células, oocistos, endosporos) individualizadas (não aderidas a superfícies ou integradas em partículas) e representa o período em que estas formas estão de facto em contacto com o desinfectante (AdA e LNEC).

No entanto nas câmaras de mistura de pré-oxidação e durante a desinfecção final, ao afastar-se de um regime de mistura perfeita, existem desvios que variam em função da hidrodinâmica dos sistemas onde ocorre a desinfecção, o tempo de contacto de uma fracção das células microbianas (ou de outras formas de agentes biológicos) é menor do que teoricamente calculado com o tempo de residência da água (EPA, 1999).

Por esta razão e para na prática obter estimativas do CT a prescrever, o valor de C é o da concentração residual de desinfectante e a t é geralmente atribuído um valor que corresponde ao tempo mínimo de permanência de 90% da água no sistema onde se processa a desinfecção, valor que é frequentemente designado por t₁₀ (AWWA, 1999).

O tempo teórico (TDT) é calculado considerando o volume (V) e o caudal (Q) através da equação 2 (EPA, 2003).

Equação 2

Para o cálculo tempo mínimo (t) é considerando o tempo teórico (TDT) e o *Baffling Factor* (BF), que tem em conta os desvios hidrodinâmicos dos sistemas de desinfecção (quadro 3) consoante a equação 3 (EPA, 2003).

Equação 3

Quadro 3 – Classificação dos BF

Condição de desvios hidrodinâmicos	Descrição	T10/T
Fluxo misto	Agitação, Velocidade elevada de entrada/saída do caudal, rácio baixo de comprimento-largura.	0,1
Inferior	Número de entradas e saídas simples ou múltiplas.	0,3
Médio	Separação na entrada ou saída com turbulência.	0,5
Superior	Placa perfurada na entrada em forma de serpentina	0,7
Perfeito (fluxo pistão)	Rácio comprimento - largura muito elevado, Placas perfuradas na saída e entrada	1,0

Fonte: Lee e Lin, 2004

A EPA desenvolveu valores de CT para a inactivação de cistos de *Giardia* e vírus. Os quadros 4 e 5 comparam respectivamente os valores de CT inactivação de *Giardia* e vírus usando cloro, dióxido de cloro, ozono, cloramina, e desinfecção nas condições especificadas (EPA, 1999).

Os quadros 6 e 7 apresentam os valores CT para atingir 99,9 por cento e 99 por cento inactivação de *G. lamblia*, respectivamente, fazendo variar o CT com a temperatura e os

diferentes desinfetantes. O Quadro 8 apresenta valores para alcançar CT inativação 2 -, 3 - e 4-log para vírus consoante a temperatura no intervalo de pH entre 6 e 9 (Lee e Lin, 2004).

Quadro 4 - Valores de CT para inativação de cistos de *Giardia*.

Desinfetante	Inativação (mg.min/L)					
	0,5-log	1-log	1,5-log	2-log	2,5-log	3-log
Cloro ¹	17	35	52	69	87	104
Cloramina ²	310	615	930	1230	1540	1850
Dióxido de Cloro ³	4	7,7	12	15	19	23
Ozono ³	0,23	0,48	0,72	0,95	1,2	1,43

Fonte: EPA, 1999

CT valores foram obtidos a partir AWWA, 1991.

¹ Os valores são baseados em cloro residual livre inferior ou igual a 0,4 mg / L, temperatura de 10 ° C e pH 7.

² Os valores são baseados em temperatura de 10 ° C e pH de 6 a 9.

³ Os valores são baseados em temperatura de 10 ° C e pH de 6 a 9.

Quadro 5 - Valores de CT para inativação de vírus.

Desinfetante	Inativação (mg.min/L)		
	2-log	3-log	4-log
Cloro ¹	3	4	6
Cloramina ²	643	1067	1491
Dióxido de Cloro ³	4,2	12,8	25,1
Ozono ³	0,5	0,8	1,0

Fonte: EPA, 1999

CT valores foram obtidos a partir AWWA, 1991.

¹ Os valores são baseados em cloro residual livre inferior ou igual a 0,4 mg / L, temperatura de 10 ° C e pH 7.

² Os valores são baseados em temperatura de 10 ° C e pH de 6 a 9.

³ Os valores são baseados em temperatura de 10 ° C e pH de 6 a 9

Quadro 6 - Valores de CT [(mg.min)/L] para atingir uma inativação 99,9 por cento (3 log) de *Giardia lamblia*.

Disinfectant, mg/L	pH	Temperature, °C					
		0.5 or < 1	5	10	15	20	25
Free chlorine							
≤ 0.4	6	137	97	73	49	36	24
	7	195	139	104	70	52	35
	8	277	198	149	99	74	50
	9	390	279	209	140	105	70
1.0	6	148	105	79	53	39	26
	7	210	149	112	75	56	37
	8	306	216	162	108	81	56
	9	437	312	236	156	117	78
1.6	6	157	109	83	56	42	28
	7	226	155	119	79	59	40
	8	321	227	170	116	87	58
	9	466	329	236	169	126	82
2.0	6	165	116	87	58	44	29
	7	236	165	126	83	62	41
	8	346	263	182	122	91	61
	9	500	353	265	177	132	88
3.0	6	181	126	95	63	47	32
	7	261	182	137	91	68	46
	8	382	268	201	136	101	67
	9	552	389	292	195	146	97
ClO ₂	6-9	63	26	23	19	15	11
Ozone	6-9	2.9	1.9	1.43	0.95	0.72	0.48
Chloramine	6-9	3800	2200	1850	1500	1100	750

Fonte: Lee e Lin, 2004

Quadro 7 - Valores de CT [(mg.min)/L] para atingir uma inativação 90 por cento (1 log) de *Giardia lamblia*.

Disinfectant mg/L	pH	Temperature, °C					
		0.5 or < 1	5	10	15	20	25
Free chlorine							
≤ 0.4	6	46	32	24	16	12	8
	7	65	46	35	23	17	12
	8	92	66	50	33	25	17
	9	130	93	70	47	35	23
1.0	6	49	35	26	18	13	9
	7	70	50	37	25	19	12
	8	101	72	54	36	27	18
	9	146	104	78	52	39	26
1.6	6	52	37	28	19	14	9
	7	75	52	40	26	20	13
	8	110	77	58	39	29	19
	9	159	112	84	56	42	28
2.0	6	55	39	29	19	15	10
	7	79	55	41	28	21	14
	8	115	81	61	41	30	20
	9	167	118	88	59	46	29
3.0	6	60	42	32	21	16	11
	7	87	61	46	30	23	15
	8	127	89	67	45	36	22
	9	184	130	97	65	49	32
Chlorine dioxide	6-9	21	8.7	7.7	6.3	5.0	3.7
Ozone	6-9	0.97	0.63	0.48	0.32	0.24	0.16
Chloramine	6-9	1270	735	615	500	370	250

Fonte: Lee e Lin, 2004

Quadro 8 - Valores CT [(mg. min)/L] para Alcançar Inactivação de vírus a pH de 6 a 9.

Disinfectant mg/L	Log inactivation	Temperature, °C					
		≤ 1	5	10	15	20	25
Free chlorine	2	6	4	3	2	1	1
	3	9	6	4	3	2	1
	4	12	8	6	4	3	2
Chlorine dioxide	2	8.4	5.6	4.2	2.8	2.1	1.4
	3	25.6	17.1	12.8	8.6	6.4	4.3
	4	50.1	33.4	25.1	16.7	12.5	8.4
Ozone	2	0.9	0.6	0.5	0.3	0.25	0.15
	3	1.4	0.9	0.8	0.5	0.4	0.25
	4	1.8	1.2	1.0	0.6	0.5	0.3
Chloramine	2	1243	857	643	428	321	214
	3	2063	1423	1067	712	534	365
	4	2883	1988	1491	994	746	497

Fonte: Lee, Lin , 2004

2.4.1 Pré-oxidação

A utilização de um determinado composto na fase de pré-oxidação da água para consumo humano deve seguir determinados critérios relacionados com a qualidade da água bruta a tratar, assim como com o processo de tratamento utilizado (AdA e LNEC, 2007).

O tratamento convencional de água para consumo humano inclui como primeira etapa a pré-oxidação, que para além de desinfectar a água e oxidar o ferro, o manganês, compostos que conferem cor, sabor e cheiro e microcontaminantes orgânicos (e.g. toxinas, pesticidas), contribui também para minimizar a formação global de DBP na ETA, não só porque os oxidantes são seleccionados (ozono e dióxido de cloro) e aplicados em condições que permitem minimizar a produção de subprodutos na pré-oxidação, mas também porque melhoram as eficiências de clarificação remoção de NOM na etapa C/F/S a jusante (AdA e LNEC, 2007).

Efectivamente, em águas tratadas previamente com ozono e dióxido de cloro, pode ocorrer uma redução na formação de THM, de cerca 18 e 40%, respectivamente, após 3 dias de contacto com o cloro utilizado na desinfecção final de água. Esta redução acentua-se para menores tempos de contacto, isto é, após 3 horas de reacção com o cloro, a formação de THM é cerca de 75% inferior em água que sofreu uma pré-ozonização (AdA e LNEC, 2007).

A minimização do potencial de formação de THM com a pré-oxidação com ozono ou dióxido de cloro deve-se, provavelmente, à transformação de compostos hidrófobos,

principais precursores de THM em compostos hidrófilos e/ou à (ainda que usualmente baixa) remoção de NOM na pré-oxidação ou ao seu efeito potenciador da remoção de NOM na etapa C/F/S (AdA e LNEC, 2007).

2.4.1.1 Ozono

O Ozono foi inicialmente utilizado para tratamento de água potável em 1893, nos Países Baixos. Embora sendo usado com frequência na Europa para desinfecção de água potável e oxidação, foi lenta a transferência para os Estados Unidos (EPA, 1999)

O ozono (O_3) é uma molécula instável, deve ser gerado no ponto de aplicação para utilização no tratamento da água, e é formado pela passagem de ar seco ou oxigénio através de um campo eléctrico de alta voltagem. O ar enriquecido em ozono resultante é administrado directamente na água. Os tanques de contacto, tipicamente de 5m profundidade, permitem 10/20 min de tempo de contacto. Dissolução de pelo menos 80% do ozono aplicado deve ser possível, com o restante contido no gás afluente, que é passado através de um destruidor de ozono e ventilado para a atmosfera (WHO, 2006).

No entanto, o ozono não pode ser usado como um desinfectante secundário porque o ozono residual decai muito rapidamente. A eficiência da desinfecção por ozono não é afectada pelo pH (EPA, 1999).

A ozonização é operada na perspectiva do controlo das FR, pelo que são necessários CT relativamente elevados. Destas circunstâncias, que possivelmente envolvem o recurso a concentrações de ozono e tempos de contacto maiores dos que seriam necessários para outras aplicações do oxidante, pode resultar uma formação de DBP do ozono acima do que é desejável (AdA e LNEC, 2007).

O mecanismo pelo qual o ozono inactiva micróbios não é bem compreendido. É provável, portanto, que se tornem micróbios inactivados porque o ozono atinge a membrana citoplasmática (devido ao grande número de proteínas funcionais), a estrutura da proteína capsidial de um vírus, ou ácidos nucleicos dos microrganismos (WHO, 2004)

2.4.1.1.1 Inactivação dos microrganismos

O ozono é muito eficaz contra as bactérias.

Escherichia coli é uma das mais sensíveis, enquanto cocos Gram-positivos (*Staphylococcus e Streptococcus*), bacilos Gram-positivos (*Bacillus*) e micobactérias são as

mais resistentes (WHO, 2004). Estudos têm demonstrado o efeito de pequenas concentrações de ozono dissolvido (ou seja, 0,6 mg / L) em *E. coli*. e *Legionella pneumophila* (EPA, 1999).

Os níveis de *E. coli*. foram reduzidos em 4 log (remoção de 99,99 por cento) em menos de 1 minuto com uma concentração ozono residual de 9 mg / L, à temperatura de 12°C. Os níveis de *Legionella pneumophila* foram reduzidos em mais de 2 log (remoção de 99 por cento) com um tempo de contacto mínimo de 5 minutos a uma concentração de ozono de 0,21 mg / L. Resultados semelhantes aos obtidos para *E. coli* foram encontrados para inactivação de *Staphylococcus sp.* e *Pseudomonas fluorescens* (EPA, 1999)

Os vírus são geralmente mais resistentes ao ozono do que formas vegetativas, embora os fagos pareçam ser mais sensíveis do que vírus humanos (WHO, 2004).

A sensibilidade do rotavírus humano ao ozono foi determinada em comparação à das Micobactérias e vírus *Coxsackie* (EPA, 1999).

Os cistos de protozoários são muito mais resistentes ao ozono e a outros desinfectantes do que a formas vegetativas de bactérias e vírus (EPA, 1999).

Os valores de CT produzidos para uma inactivação 99 por cento de *Giardia lamblia* e *Naegleria gruberi* a 5°C foram 0,53 e 4,23 mg.min / L, respectivamente (EPA, 1999). Dados disponíveis para a inactivação de oocistos de *Cryptosporidium*, sugerem que, entre os protozoários, este microrganismo é mais resistente ao ozono. Um estudo descreveu que oocistos de *Cryptosporidium* são aproximadamente 10 vezes mais resistentes ao ozono do que *Giardia* (EPA, 1999). Até à data, não há valores de CT aceites de ozono para a inactivação de *Cryptosporidium*, seja para regulamentar ou aplicação operacional (WHO, 2004).

2.4.1.2 Dióxido de cloro

Desde o início do século XX, altura em que foi utilizado pela primeira vez em Ostend, na Bélgica, o dióxido de cloro é conhecido como um poderoso desinfectante de água. Durante a década de 1950, foi introduzido de forma mais geral como um desinfectante de água potável (EPA, 1999). O dióxido de cloro é um forte oxidante mas também tem sido usado como um desinfectante secundário em muitos países europeus (WHO, 2004).

O Dióxido de cloro é altamente solúvel em água (especialmente a baixas temperaturas), e é eficaz numa gama de valores de pH entre 5-10 (WHO, 2004).

Teoricamente, o dióxido de cloro sofre um ataque de cinco electrões (e⁻) sendo reduzido a ião cloreto (WHO, 2004):

No entanto, na prática, raramente é oxidado o dióxido de cloro completamente a ião cloreto.

Os mecanismos de inactivação de microrganismos ainda não são bem conhecidos, mas parecem variar por tipo de microrganismo (EPA, 1999).

Os dois mecanismos mais plausíveis para a inactivação de microrganismos são a reacção química específica entre o dióxido de cloro e as biomoléculas e acção do dióxido de cloro sobre as funções fisiológicas dos microrganismos (WHO, 2004).

No primeiro mecanismo de desinfecção, o dióxido de cloro reage facilmente com os aminoácidos cisteína, triptofano e tirosina, mas não com ácido ribonucleico viral (RNA). Pelos estudos, concluiu-se que o dióxido de cloro inactiva os vírus devido à alteração proteica da cápsula viral. No entanto, o dióxido de cloro reage com poliovírus RNA e impede a síntese de RNA. Foi também demonstrado que o dióxido de cloro livre reage com os ácidos gordos. Neste momento, não está claro se o principal modo de inactivação por dióxido de cloro reside nas estruturas periféricas ou ácidos nucleicos. Talvez as reacções em ambas as regiões contribuam para a inactivação dos microrganismos patogénicos. (EPA, 1999).

O segundo tipo de mecanismo de desinfecção incide sobre o efeito do dióxido de cloro sobre as funções fisiológicas. Tem sido sugerido que o principal mecanismo de inactivação é a ruptura da síntese proteica.

Para tratamento da água, o dióxido de cloro tem várias vantagens sobre o cloro e outros desinfectantes (WHO, 2004).

Em contraste com cloro, o dióxido de cloro continua na sua forma molecular na gama de pH normalmente encontrada em águas naturais. Dióxido de cloro é um forte oxidante e desinfectante.

2.4.1.2.1 Inactivação de microrganismos

Dióxido de Cloro é um desinfectante mais eficaz do que cloro, mas é menos eficaz que o ozono (EPA, 1999).

Foi demonstrado que, mesmo na presença de matéria em suspensão, dióxido de cloro é eficaz contra *E. coli* em doses no intervalo de 1 a 5 mg / L (EPA, 1999).

Dióxido de cloro mostrou-se mais eficaz do que o cloro na inactivação *B. subtilis*, *B. mesentericus*, e esporos de *B. megaterium*. Além disso, dióxido de cloro mostrou-se tão eficaz ou mais eficaz do que o cloro na inactivação de *Salmonella paratyphi* e *S. typhosa* (EPA, 1999).

Dióxido de cloro é um desinfectante eficaz para o controle de *Giardia lamblia*; os valores de CT para inactivação 1-log (pH 6-9) variam de 5 min.mg / L a 20°C a 21 mg.min / L a 0,5°C. Os valores de CT para inactivação 3-log (pH 6-9) variam de 19 mg.min / L a 15°C a 63 mg.min / L a 0,5°C. Estes valores são 3-14 vezes menores do que os exigidos para o cloro livre, mas aproximadamente 20 vezes maiores do que os exigidos para o ozono (WHO, 2004).

Dependendo da temperatura e pH, *Cryptosporidium* é 8 a 16 vezes mais resistente ao dióxido de cloro do que *Giardia* (EPA, 1999).

2.4.2 Desinfecção final com cloro

O cloro continua a ser, nos dias de hoje, o desinfectante mais utilizado em todo o mundo e particularmente em Portugal devido às suas características, como a elevada eficiência na destruição ou inactivação de microrganismos patogénicos presentes na água, assim como, a sua eficácia com desinfectantes alternativos. É, para além disso, económico, de fácil utilização e existem bastantes estudos relacionados com a sua aplicação em tratamento de água para consumo humano (AdA e LNEC, 2007).

Cloro gasoso hidrolisa rapidamente em água para formar ácido hipocloroso (HOCl). A seguinte equação apresenta a reacção de hidrólise (EPA, 1999):

Equação 5

Note-se que a adição de cloro gasoso à água reduz o seu pH devido à produção de ião hidrogénio (EPA, 1999).

Ácido hipocloroso é um ácido fraco (pK_a de cerca de 7,5), significando que se dissocia ligeiramente em hidrogénio e ião hipoclorito como se mostra a no Equação 6 (EPA, 1999):

Equação 6

As reacções são reversíveis e dependentes do pH (WHO, 2004):

- a pH entre 3,5 e 5,5, HOCl é a espécie predominante;
- a pH entre 5,5 e 9,5, ambas as espécies HOCl e OCl⁻ existem em diferentes proporções;
- Acima de pH 9,5, OCl⁻ predomina.

2.4.2.1 Inactivação de microrganismos

Os Citocromos são proteínas altamente vulneráveis à degradação oxidativa por HOCl, sugerindo que o cloro provoca danos fisiológicos principalmente nas membranas das células bacterianas. Respiração, transporte de glicose e adenosina trifosfato das bactérias diminuem para todos os níveis de tratamento com cloro (WHO, 2004).

Microscopia electrónica de bactérias cloradas demonstrou alterações morfológicas na membrana celular. Além disso, a cloração pode matar micróbios por perturbar o metabolismo da síntese proteica, ou por modificar bases purina e pirimidina e, assim, causar defeitos genéticos (WHO, 2004).

Quase 100 anos de cloração para desinfecção de água potável demonstraram a eficácia deste processo de inactivação de micróbios patogénicos, com a notável excepção de *Cryptosporidium* (WHO, 2004).

Estudos realizados por vários investigadores concluíram que HOCl é de 70 a 80 vezes mais eficaz do que o OCl⁻ para inactivação de bactérias (EPA, 1999).

Um estudo mostrou que quase todos os sobreviventes à desinfecção por cloro são bactérias Gram-positivas, possivelmente porque estas bactérias têm paredes mais espessas do que as Gram-negativas (WHO, 2004).

Vírus entéricos geralmente são mais resistentes ao cloro livre que bactérias entéricas. A figura 1 representa valores de CT para uma inactivação 99% de bactérias e vírus em função da quantidade cloro livre disponível (FAC), em ppm, pelo tempo, em minutos (WHO, 2004).

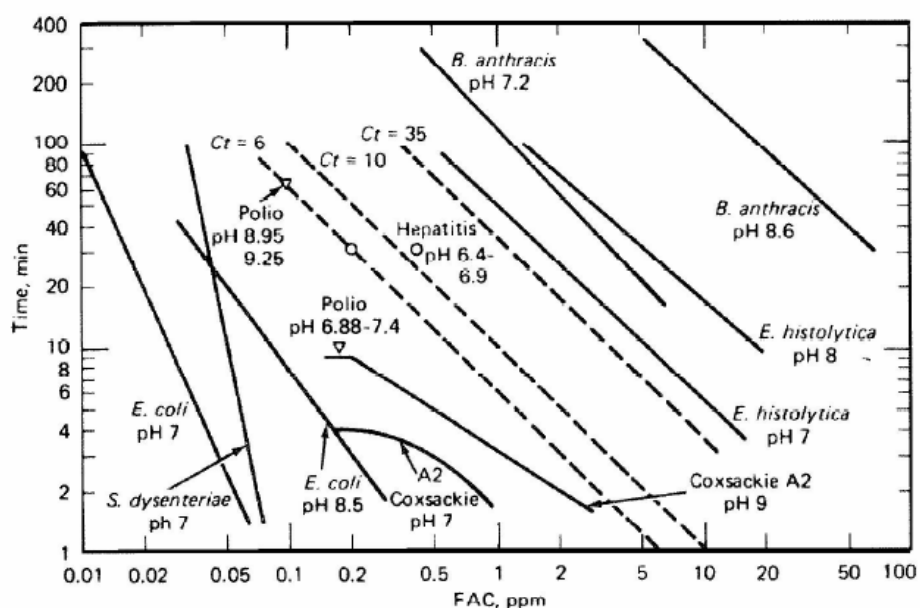


Figura 1 - Inativação de 99% de bactérias e vírus em função da quantidade de cloro livre ativo (FAC – Free Active chlorine) e do tempo (WHO, 2004).

O cloro tem demonstrado sucesso limitado na inativação de protozoários. Os dados obtidos durante um estudo em 1984 indicam que a resistência de cistos de *Giardia* é duas ordens de grandeza maior que a dos enterovírus e mais de três ordens de grandeza superior às bactérias entéricas (EPA, 1999).

Giardia lamblia pode exigir um tempo de contacto prolongado, e uma alta concentração de cloro residual (2-3 mg / L), para atingir 99,9% (3-log) inativação (WHO, 2004).

O cloro tem pouco impacto sobre a viabilidade de oocistos de *Cryptosporidium* quando utilizado em doses relativamente baixas no tratamento da água (por exemplo, 5 mg/L). Aproximadamente remoções de 40% (0,2 log) de *Cryptosporidium* foram alcançadas com valores de CT de 3600 mg.min / L (EPA, 1999).

Em Portugal, é comum utilizar o cloro como desinfetante residual. O cloro residual é utilizado com a finalidade de contrariar a viabilidade e a proliferação dos microrganismos que escapam ao processo de tratamento ou possam contaminar os sistemas por infiltração ou durante os trabalhos de manutenção e reparação das redes de distribuição (AdA e LNEC, 2007).

2.4.2.2 Aspectos críticos da cloragem

Nas ETA's, o cloro é utilizado como desinfetante final, mantendo-se ao longo da rede de distribuição uma concentração residual do mesmo. Para além da inactivação de microrganismos, que constitui o principal objectivo da desinfectação, esta etapa permite ainda oxidar ferro e manganês, assim como compostos que conferem cor, sabor e cheiro, e microcontaminantes orgânicos. As principais desvantagens da cloragem prendem-se com a formação de DBP indesejáveis. Os aspectos críticos da cloragem relacionam-se, portanto, com as características da água (teor em precursores de DBP -NOM - temperatura e pH) e com a concentração e tempo de contacto com o cloro (AdA e LNEC, 2007).

O quadro 9 resume a operação de desinfectação com diferentes agentes desinfectantes, as reduções microbianas para os grandes grupos ou categorias de microrganismos: bactérias, vírus e protozoários. Isto porque geralmente a eficácia do tratamento para a redução microbiana, difere entre estes grupos microbianos devido a diferentes propriedades dos microrganismos (por exemplo, o tamanho, a natureza das cápsulas de protecção externas, propriedades físicas da superfície, etc.) (WHO, 2006).

Quadro 9 - Operação de desinfectação com diferentes agentes desinfectantes e remoção dos diferentes microrganismos.

Desinfectação	Grupo	Remoção na linha de base
Cloro	Bactérias	CT ₉₉ : 0,08mg.min/L a 1–2°C, pH 7; 3,3mg.min/L a 1–2°C, pH 8,5
	Vírus	CT ₉₉ : 12mg.min/L a 0–5°C; 8mg.min/L a 10°C; a pH 7–7,5
	Protozoários	<i>Giardia</i> CT ₉₉ : 230mg.min/L a 0,5 °C; 100mg.min/L a 10 °C; 41mg.min/L a 25 °C; pH 7–7,5
Dióxido de Cloro	Bactérias	CT ₉₉ : 0,13mg.min/L a 1–2°C, pH 7; 0,19mg.min/L a 1–2°C, pH 8,5
	Vírus	CT ₉₉ : 8,4mg.min/L a 1 °C; 2,8mg.min/L a 15 °C; ambas a pH 6–9

Fonte: WHO, 2006.

Quadro 9 (Continuação)

Desinfecção	Grupo	Remoção na linha de base
Dióxido de Cloro	Protozoários	<i>Giardia</i> CT ₉₉ : 42mg.min/L a 1 °C; 15mg.min/L a 10 °C; 7,3mg.min/L a 25 °C; pH 6–9
		<i>Cryptosporidium</i> CT ₉₉ : 40mg.min/L a 22 °C, pH 8
Ozono	Bactérias	CT ₉₉ : 0,02mg.min/L a 5 °C, pH 6–7
	Vírus	CT ₉₉ : 0,9mg.min/L a 1 °C, 0,3mg.min/L a 15 °C
	Protozoários	<i>Giardia</i> CT ₉₉ : 1,9mg.min/L a 1 °C; 0,63mg.min/L a 15 °C, pH 6–9
		<i>Cryptosporidium</i> CT ₉₉ : 40mg.min/L a 1 °C; 4,4mg.min/L a 22 °C

Fonte: WHO, 2006

3. Metodologia de trabalho

3.1 Estudo e caracterização das condições operacionais

A primeira fase deste trabalho consistiu no estudo e caracterização das condições operacionais das etapas de oxidação química e de desinfecção disponíveis na ETA de Tavira, sendo descrito seguidamente todo o processo das mesmas.

3.1.1 Estação de tratamento de água (ETA) de Tavira

A Águas do Algarve, S.A, tem por objectivo principal o fornecimento de água potável em qualidade e quantidade durante todo o ano, bem como dotar a região com um sistema seguro, do ponto de vista da saúde pública dos cidadãos.

O controlo da qualidade da água de consumo humano é efectuado de modo a cumprir a legislação nacional aplicável aos diversos tipos de águas, as orientações da OMS e, desde 2007, as especificações da certificação em segurança alimentar (ISO 22000) e certificação do produto “Água para Consumo Humano na variante Sistemas de Abastecimento Público em Alta”, pelo referencial ERP 5001/1. Deste modo, para além do programa de análises para cumprimento da legislação, existem planos operacionais de análises que garantem a qualidade da água produzida pela Águas do Algarve, S.A (website 1).

O Laboratório de Águas do Algarve, S.A. encontra-se acreditado pelo Instituto Português da Acreditação (IPAC) segundo a Norma NP EN ISO/IEC 17025:2005, tendo-lhe sido atribuído o Certificado de Acreditação nº L0400, e tem actualmente em curso o processo de acreditação para a colheita, a preservação e o transporte das amostras de água (website1).

A ETA de Tavira é alimentada por água de captação superficial das albufeiras de Beliche e Odeleite a qual chega através de condutas passando por estações elevatórias (AdA, s/d a).

A estação apresenta capacidade máxima de produção de 190 000m³/ dia (AdA, s/d b) dividida em quatro linhas de tratamento que são numeradas em linhas 1 e 2, que correspondem à 1ª fase, e linhas 3 e 4 que correspondem à 2ª fase. Esta última corresponde a uma ampliação da instalação, ambas as linhas de tratamento têm a capacidade unitária de 1,1 m³/s (SETAL Degrémont, s/d).

A ETA de Tavira abastece todos os Municípios do Sotavento (AdA, s/d a), a água tratada desta estação de tratamento destina-se à distribuição em alta dos concelhos de Alcoutim, Castro Marim, Faro, Loulé, Olhão, S.Brás de Alportel, Tavira e Vila Real de Santo

António, todos pertencentes ao Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água ao Algarve. Poderá se necessário, através da Estação Elevatória Reversível, abastecer a partir do Sotavento algarvio, conforme tem sido praticado nos últimos anos devido à escassez de água no Barlavento algarvio, por falta da conclusão da barragem de Odelouca (AdA, s/d b).

A figura 2 representa o esquema geral do tratamento da água na ETA de Tavira, descrito seguidamente.

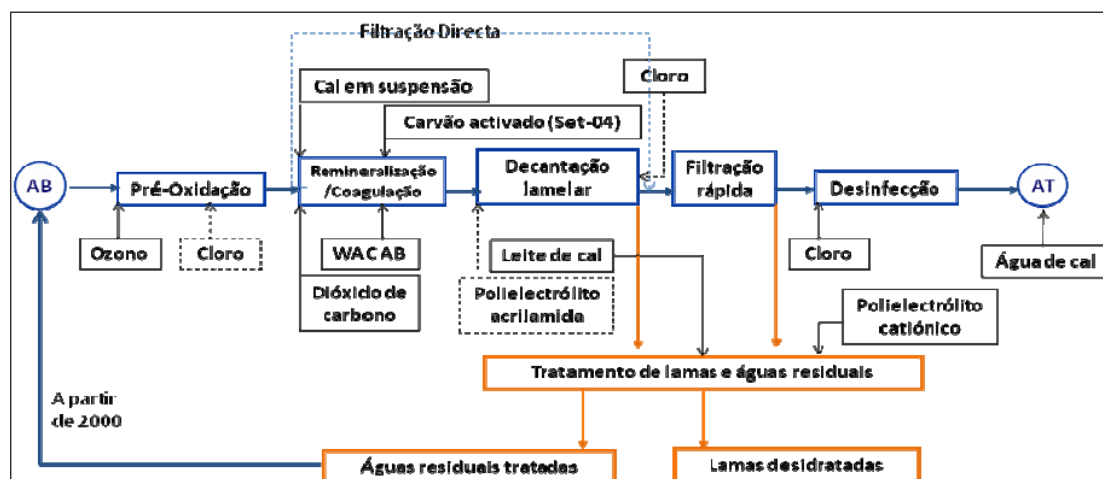


Figura 2 - Esquema de tratamento da ETA de Tavira (Silva, 2007)

3.1.1.1 Linha de tratamento de água

A água bruta passa em primeiro lugar por uma Câmara de Chegada com o objectivo de a distribuir por uma ou duas cisternas de contacto consoante o caudal a tratar (SETAL Degrémont, s/d).

Nestas cisternas de contacto ocorre a fase de pré-oxidação. Este processo tem como objectivo essencial a redução da concentração de microrganismos e a oxidação da matéria orgânica, presentes na água bruta, com a adição de ozono (ozonização). Esta etapa contempla uma possível adição de cloro, não usado, por não se justificar o seu uso (SETAL Degrémont, s/d).

A etapa seguinte é a remineralização. Como a água bruta afluente à ETA é muito pouco mineralizada, procede-se à adição de dióxido de carbono e de cal, sob a forma de leite de cal, e, deste modo, o fornecimento de uma água equilibrada (AdA, s/d b).

Na câmara de mistura rápida acontece a etapa de coagulação com o reagente químico policloreto de alumínio. A etapa tem por objectivo desestabilizar as partículas em suspensão, facilitando a sua aglomeração. Realiza-se também nesta câmara a adsorção com adição de

carvão activado em pó, necessária apenas para fazer face a uma eventual degradação da água bruta, associada, nomeadamente, à presença de algas (SETAL Degrémont, s/d).

A câmara de mistura rápida alimenta directamente o aparelho decantador do tipo PULSATOR Lamelar. Este aparelho é essencialmente formado por um tanque de fundo plano, comportando na sua base uma série de colectores perfurados. É no fundo do decantador lamelar que as partículas em suspensão se acumulam, sob a forma de flocos, sendo daí extraídas periodicamente. A água decantada é conduzida para a filtração (AdA, s/d b).

A água é descarregada das caleiras gerais de recolha dos decantadores para a caleira geral de distribuição dos filtros, para onde é enviado um caudal constante e uniformemente distribuído pelos filtros (SETAL Degrémont, s/d).

O processo de filtração é apenas um processo físico que se destina a clarificar a água, que contém ainda matérias sólidas em suspensão. Os sólidos aí retidos são removidos, de modo intermitente, mediante a lavagem com ar e água em fluxo invertido (SETAL Degrémont, s/d).

Os filtros de dupla célula possuem uma camada filtrante de areia calibrada. Após a água entrar no filtro atravessa a camada filtrante de areia (SETAL Degrémont, s/d).

Seguidamente vai passar pelos ralos colocados no fundo falso do filtro saindo pela tubagem de saída de água filtrada para uma câmara de restituição. Daí transborda por descarregador para dentro da cisterna de água de lavagem e desta, também transborda para a cisterna de água filtrada (SETAL Degrémont, s/d).

A água armazenada na Cisterna de Água Tratada é nesta fase injectada logo à entrada com uma solução clorada para a desinfecção total, através de um clorómetro (SETAL Degrémont, s/d).

Após a sua desinfecção total é armazenada na cisterna de água tratada, onde sofre ainda um último processo de afinação de pH com água de cal. Este reagente tem as mesmas características do leite de cal mas a sua utilização destina-se a manter a ausência turvação na água tratada (SETAL Degrémont, s/d).

3.1.1.2Linha de tratamento de lamas

No processo de decantação são produzidas lamas dos decantadores, as quais têm de ser tratadas e são recolhidas para a cisterna de lamas (SETAL Degrémont, s/d).

No processo de filtração são produzidas águas sujas pela lavagem dos filtros. Estas águas são recolhidas para a cisterna de águas residuais do processo. Estas águas são tratadas no Densadeg, equipamento que se destina a realizar o espessamento das lamas (SETAL Degrémont, s/d).

O Densadeg é constituído por um reactor de coagulação/floculação e um decantador lamelar (SETAL Degrémont, s/d).

O reactor é efectivamente constituído por dois reactores em série, um tem agitação para realizar uma floculação rápida e o outro apresenta fluxo pistão para realizar a floculação lenta, sendo injectado o reagente polielectrólito na sua base (SETAL Degrémont, s/d).

Os flocos entram no decantador através de uma zona de alimentação larga. Para a eliminação dos flocos residuais, existem ainda módulos lamelares localizados na parte superior do decantador (SETAL Degrémont, s/d).

As lamas acumulam-se na parte inferior do decantador onde se vão espessar em duas camadas sobrepostas, a camada superior, é uma zona de passagem e de concentração das lamas recirculadas, logo esta será a zona onde as lamas estão menos concentradas. A camada inferior permite um espessamento mais significativo das lamas (SETAL Degrémont, s/d).

A água clarificada que sai na parte superior do Densadeg será encaminhada em direcção ao tanque de entrada (SETAL Degrémont, s/d).

As lamas seguem para o espessador. Este contém um raspador de velocidade lenta que irá transportar as lamas em direcção de uma tremonha situada no fundo do tanque. A água clarificada é recolhida por transbordo sobre a caleira periférica e é transportada por gravidade em direcção à cisterna de águas de lavagem, enquanto as lamas são armazenadas na parte inferior do espessador (SETAL Degrémont, s/d).

As lamas do espessador são direccionadas para o tanque de homogeneização onde são misturadas com a solução de leite de cal (SETAL Degrémont, s/d).

A mistura de lamas com o reagente é desidratada no filtro de prensa.

Este filtro é constituído essencialmente por uma bateria de placas, justapostas e apoiadas fortemente umas contra as outras através de macaco hidráulico simples (SETAL Degrémont, s/d).

As lamas a filtrar são introduzidas sob pressão nas câmaras de filtração através de orifícios dispostos ao centro das placas. As matérias sólidas irão acumular-se progressivamente na câmara de filtração até se obter uma lama final compactada.

O filtrado é recolhido nos canais existentes no suporte das câmaras filtrantes e é evacuado através de condutas internas fechadas em direcção ao esgoto.

3.2 Estudo e análise do histórico dos resultados da qualidade da água

A segunda tarefa realizada foi estudar e analisar o histórico dos resultados microbiológicos da qualidade da água, da ETA de Tavira, nos anos 2006 a 2008, nas etapas de pré-oxidação e de desinfecção. Esta foi efectuada através da compilação de gráficos dos valores mínimos, médios e máximos para cada grupo de microrganismos. São também apresentados os resultados do parâmetro Fitoplankton *Cyanophyceae* no mesmo período analisado, dada a sua importância no processo de tratamento. Estes dados serão apresentados no capítulo de resultados.

3.3 Verificação e cálculo das capacidades de redução microbiológica

Por último, na terceira tarefa realizada foi efectuada a verificação da eficiência do tratamento consoante o cálculo da eficiência de redução microbiológica perante cada grupo de microrganismos.

Para a eficiência de remoção foram considerados os índices de remoção global (equação 7) e de remoções parciais (equações 8 e 9). Os índices de eficiências de remoção parcial foram aplicados de acordo com as etapas presentes no tratamento convencional da ETA: pré-oxidação e desinfecção. Estes índices assumem valores na escala de 0 a 100% (se existir remoção do parâmetro). Os gráficos elaborados serão apresentados na secção de resultados.

Equação 7

Equação 8

Equação 9

Para melhor avaliação do funcionamento da ETA de Tavira foi ainda calculado a dose de desinfetante (CT) para os anos em estudo.

Os dados foram gentilmente cedidos pelas Águas do Algarve (dados não apresentados na presente dissertação, por questões de confidencialidade).

4.Resultados e discussão

Este capítulo divide-se em 3 subcapítulos: 4.1 Análise estatística dos parâmetros microbiológicos da qualidade da água, 4.2 Cálculo das eficiências de remoção e 4.3 Cálculo dos CT.

Baseia-se na análise, representação e discussão dos dados existentes na base de dados *Echiron* das Águas do Algarve relativos aos parâmetros microbiológicos da qualidade da água.

4.1Análise estatística dos parâmetros microbiológicos da qualidade da água

Os dados apresentados referem-se aos parâmetros microbiológicos analisados na água bruta (AB) à entrada da ETA de Tavira, na água após oxidação com ozono (AO) e na água tratada (AT).

O período de análise dos dados é relativo aos anos de 2006 a 2008.

Os quadros A4, A5 e A6 (em anexo) representam os parâmetros microbiológicos, com os valores mínimos, médios e máximos e desvio padrão para os referidos anos e para a AB, AO e AT da ETA de Tavira.

Os gráficos seguintes representam os valores mínimos, médios e máximos dos respectivos parâmetros microbiológicos nos anos analisados na ETA de Tavira, para a AB, AO e AT.

A figura 3 representa os valores relativos ao parâmetro Bactérias coliformes.

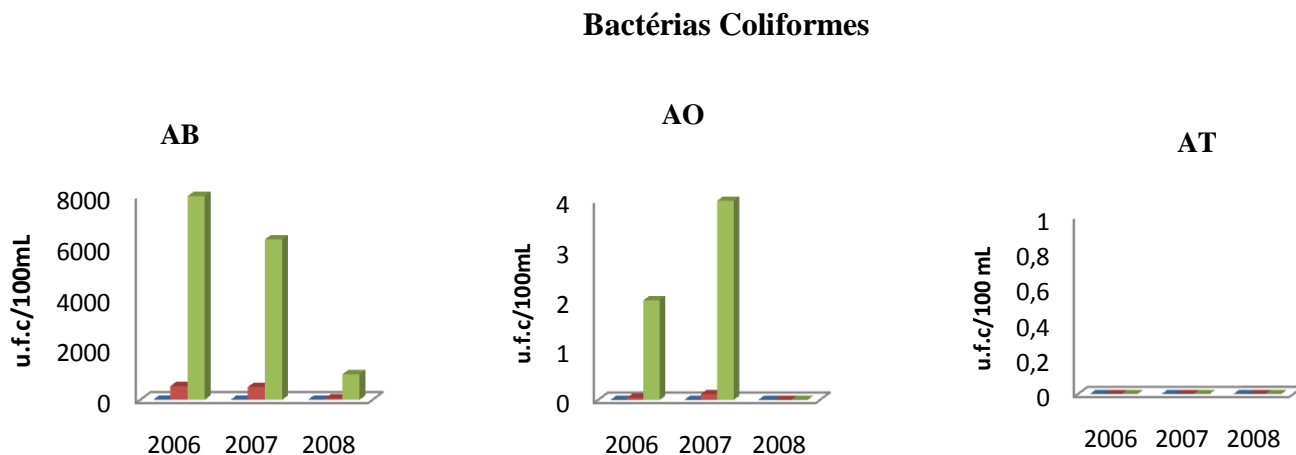


Figura 3 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bactérias coliformes medido em u.f.c./100mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

Pela análise da figura 3 verifica-se que a ordem de grandeza do parâmetro Bactérias coliformes ao longo das etapas do tratamento teve uma remoção considerável chegando mesmo na última etapa sem qualquer resultado positivo detectado deste parâmetro.

Verifica-se que o parâmetro Bactérias coliformes na AB, teve uma diminuição ao longo do tempo, representando uma melhor qualidade deste recurso.

Na AO existe um aumento relativo do valor máximo do ano 2006 para o ano 2007, não muito problemática visto que a água ainda não se destina nessa etapa ao consumidor, no entanto, demonstra uma certa ineficiência da ozonização para a remoção total deste tipo de microrganismo até ao ano de 2007. No ano de 2008 não houve detecção deste parâmetro na AO, o que demonstra uma melhoria no processo nesta etapa.

De 2006 a 2008, na AT não houve detecção deste parâmetro, visto que Bactérias coliformes são um grupo heterogéneo e a maioria são sensíveis à desinfecção, como já foi referido na revisão do estado de arte (WHO, 2006).

A figura 4 mostra os resultados das análises ao parâmetro *Clostridium perfringens*.

Clostridium perfringens

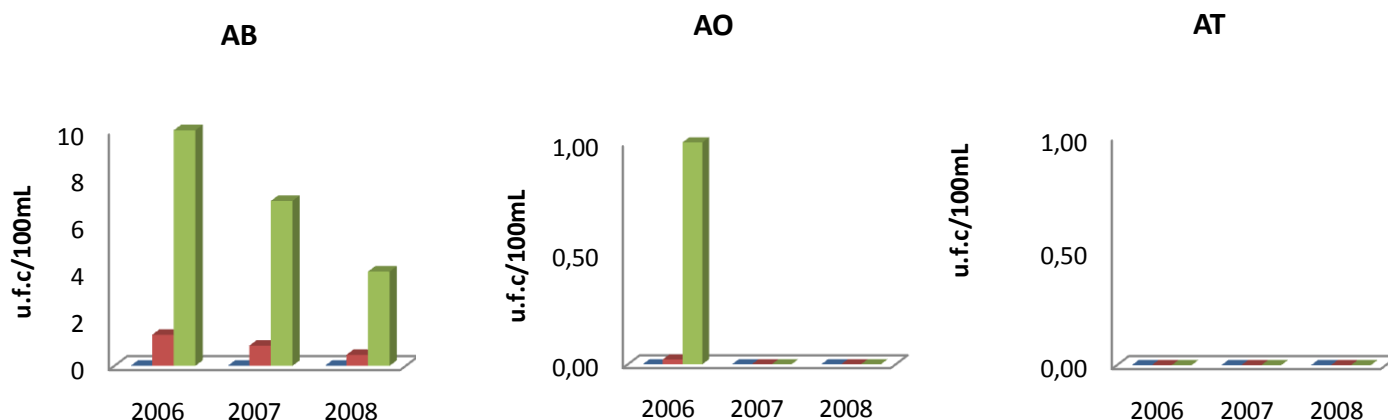


Figura 4 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Clostridium perfringens* medido em u.f.c./100mL na AB, AO, AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

É assinalável uma diminuição na ocorrência deste parâmetro na AB, o longo dos anos em análise, representando uma melhoria da sua qualidade.

No ano de 2006, existe na AO, uma ocorrência pontual deste parâmetro. Nos anos seguintes analisados não houve detecção deste parâmetro.

Na AT o parâmetro *Clostridium perfringens* não foi detectado, demonstrando que existiu uma capacidade para a sua remoção na ETA de Tavira. Não sendo observado a presença de *Clostridium perfringens* na AT equivale à não existência de índice de contaminação fecal, pelo que não são necessárias investigações ao desempenho do tratamento da água potável da ETA de Tavira.

As representações gráficas da figura 5 referem-se às análises do parâmetro *E. coli*.

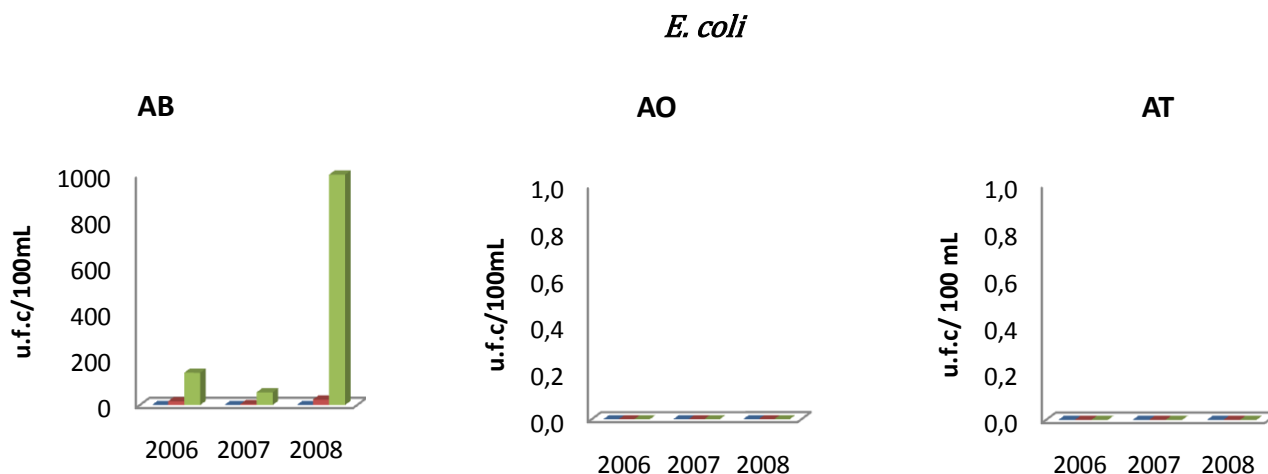


Figura 5 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *E. coli* medido em u.f.c./100mL na AB, AO, AT nos anos 2006, 2007 e 2008.

Observa-se na figura 5, de 2006 a 2008 um aumento significativo *E. coli* na AB, mas verifica-se uma boa redução do mesmo parâmetro nas etapas de pré-oxidação e desinfecção, não sendo detectado nas análises realizadas.

E. coli é sem dúvida a bactéria mais sensível à desinfecção com ozono comparando com as bactérias já analisadas através do gráfico de AO, visto que após a oxidação não existe detecção da mesma.

A não presença de *E. coli* aponta para um tratamento adequado e uma boa integridade do sistema de distribuição.

A figura 6 representa as análises do parâmetro *Enterococcus* na ETA de Tavira.

Enterococcus

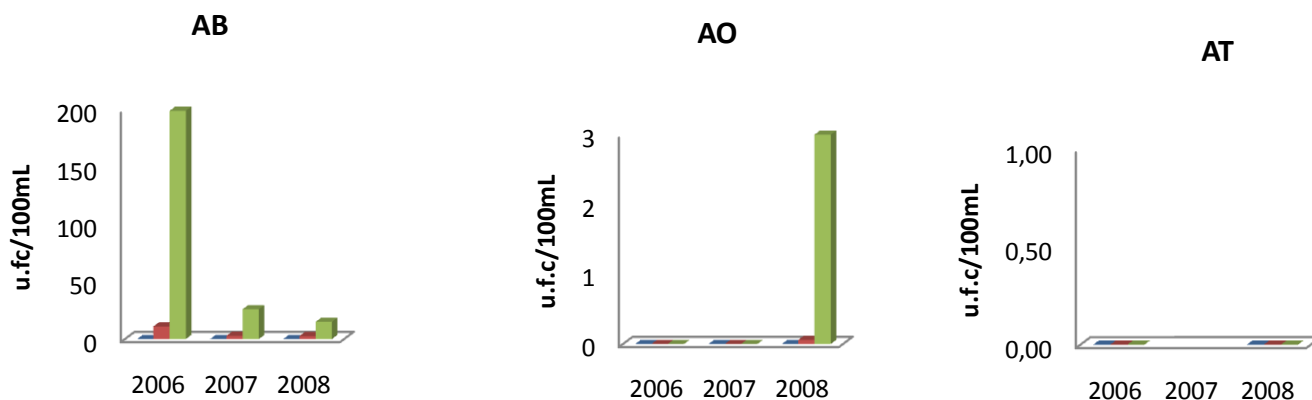


Figura 6 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Enterococcus* medido em u.f.c./100mL na AB, AO e AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

Na representação gráfica da figura 6, observa-se que AB teve uma diminuição na ocorrência de *Enterococcus*, confirmando-se uma melhoria da sua qualidade, isto é uma melhoria dos recursos hídricos. Na análise da AO, o parâmetro microbiológico não é detectado, à excepção do ano de 2008, e na AT não houve detecção deste parâmetro.

Comparando os parâmetros das representações gráficas 5 e 6, nas mesmas condições em AO, os valores de *Enterococcus* destacam-se em relação *E. coli*, visto que são cocos Gram-positivos, ou seja, mais resistentes do que *E. coli* (Gram-negativa) (WHO, 2004).

Nesta etapa de ozonização, o ozono destrói a parede celular destes microrganismos através da oxidação dos constituintes da membrana da parede celular tal como proteínas e lipídios. As bactérias Gram-positivas que tenham uma dupla membrana, são mais resistentes ao ozono do que as bactérias Gram-negativas que apresentem uma simples membrana (Lee e Deininger, 2000).

As figuras 7 e 8 representam os valores das análises ao Número de Colónias a 22°C e 37°C.

Número de Colónias a 22°C

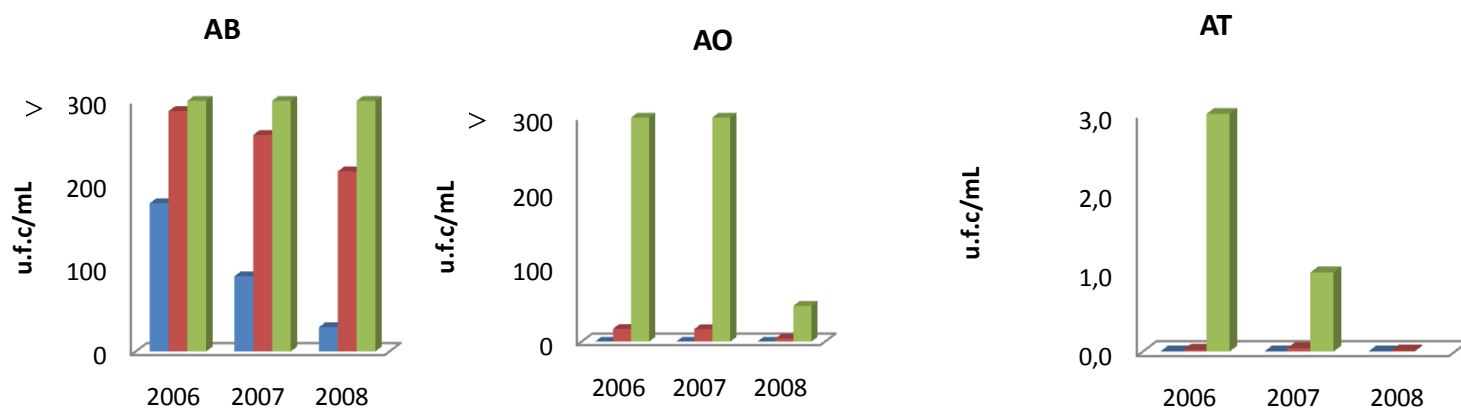


Figura 7 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Número de colónias a 22°C medido em u.f.c./mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

O limite superior de detecção do método de análise do Número de Colónias a 22°C é 300 por mL, por isso a representação gráfica da figura 8 mostra apenas até esse valor. Na AB os valores chegam sempre ao limite máximo de detecção ao longo dos anos. Na AO existe uma diminuição do registo dos valores mínimos e médios, que verifica uma redução deste grupo de microrganismos nesta etapa. Na AT os resultados indicam o registo de valores baixos deste parâmetro nos anos de 2006 e 2007, não havendo registos em 2008.

Número de Colónias a 37°C

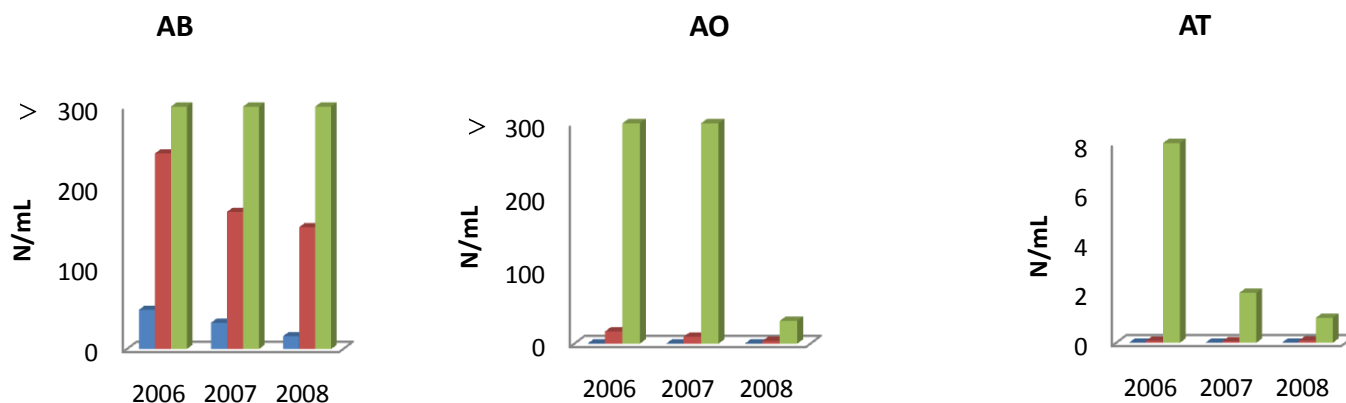


Figura 8 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Número de colónias a 37°C medido em N/mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

Para o parâmetro Número de Colónias a 37° C, o limite superior de detecção é o mesmo para o Número de Colónias a 22°C, ou seja, 300 por mL.

Verifica-se que existe uma diminuição da ocorrência deste grupo de microrganismos ao longo do tempo, na AO e na AT, o que indica uma maior eficiência de remoção.

Existe uma relação entre o Número de Colónias a 22°C e a 37°C, visto ser detectado um amplo espectro de microrganismos heterotróficos, incluindo bactérias e fungos, com base na capacidade dos organismos de crescer em meios de crescimento ricos, sem inibidor selectivo, incubação durante um determinado período e temperaturas definidas (WHO, 2006).

Estes parâmetros não são um índice de presença de patogénicos, mas o objectivo é ser útil no acompanhamento operacional de um tratamento como indicador de desinfecção, onde o objectivo é manter números tão baixos quanto possível. Assim pela análise dos resultados das figuras 7 e 8, confirma-se uma boa desinfecção, visto que os valores são tão baixos quanto possível na AT da ETA de Tavira.

A figura 9 representa os valores das análises ao parâmetro *Pseudomonas aeruginosa* na ETA de Tavira.

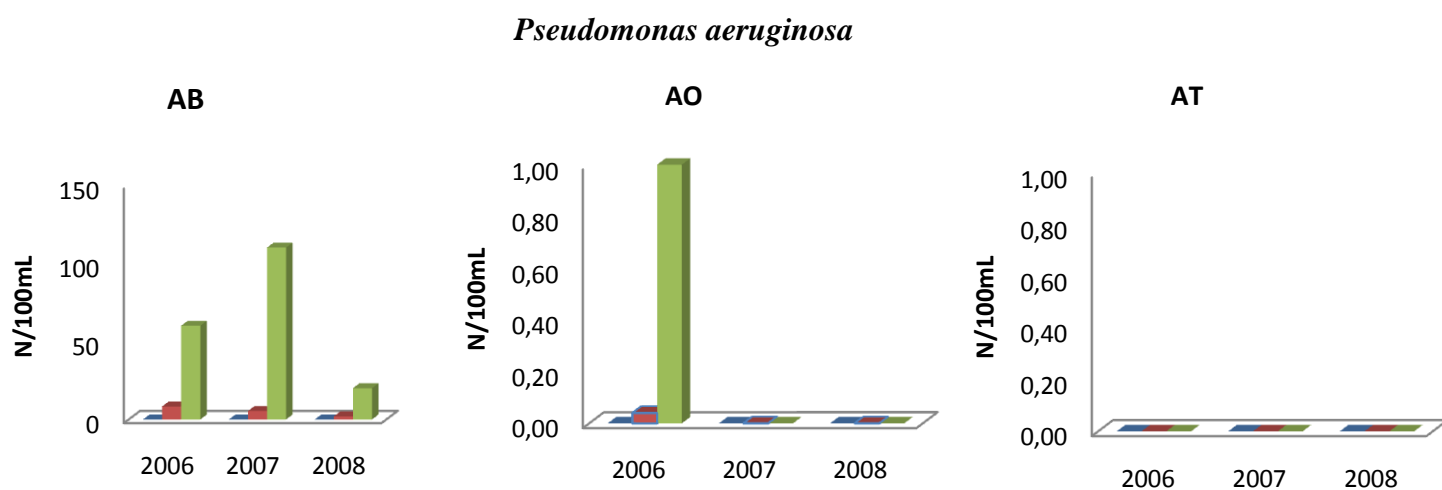


Figura 9 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Pseudomonas aeruginosa* medido em N/100mL na AB, AO e AT tratada da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

A figura 9 representa no ano de 2007, um aumento deste parâmetro na AB. Na AO, no ano 2006 foi registado um valor máximo de 1/ 100 mL (ocorrência pontual), nos restantes sendo não detectado. Ao longo dos anos em análise na AT não foi detectado este parâmetro.

A figura 10 consiste nos resultados da análise do parâmetro Bacteriófago *B. fragilis*, realizado num laboratório externo à ETA de Tavira.

Bacteriófagos *B. fragilis* - Lab. Externo

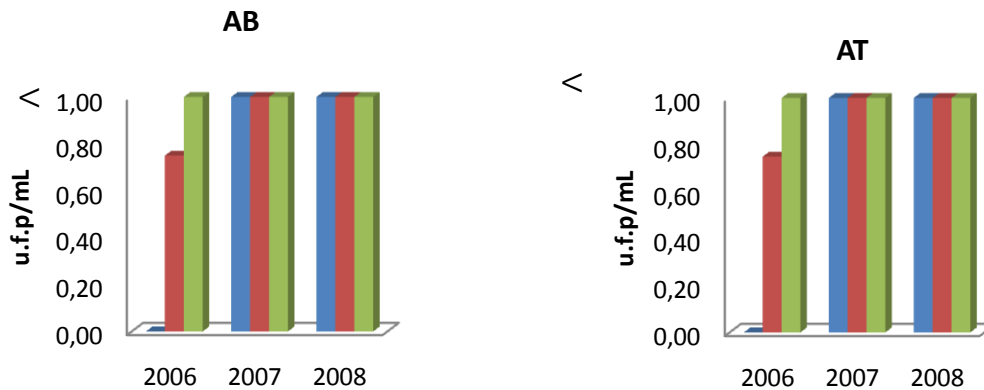


Figura 10 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bacteriófagos *B. fragilis* realizado em Laboratório externo medido em u.f.p./mL na AB e AT na ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

O parâmetro é considerado como índice de poluição fecal e a sua não ocorrência nas análises realizadas indica que a AB não apresenta possíveis contaminações fecais. Consta-se nas representações gráficas de Bacteriófagos *B. fragilis* são semelhantes, ou seja, da água bruta para a água tratada não houve alteração deste parâmetro. A apresentação do resultado incluído o símbolo < (menor), representa o limite de quantificação para esse parâmetro. O limite de detecção corresponde a valores inferiores a 1,0 u.f.p./mL. Na prática o parâmetro não é detectável, ou seja, não se detectou a existência de Bacteriófagos *B. fragilis* na AB nem na AT na ETA de Tavira.

A figura 11 representa os resultados da análise ao parâmetro Bacteriófagos de FRNA, realizado num laboratório externo à ETA de Tavira.

Bacteriófagos FRNA- Lab. Externo

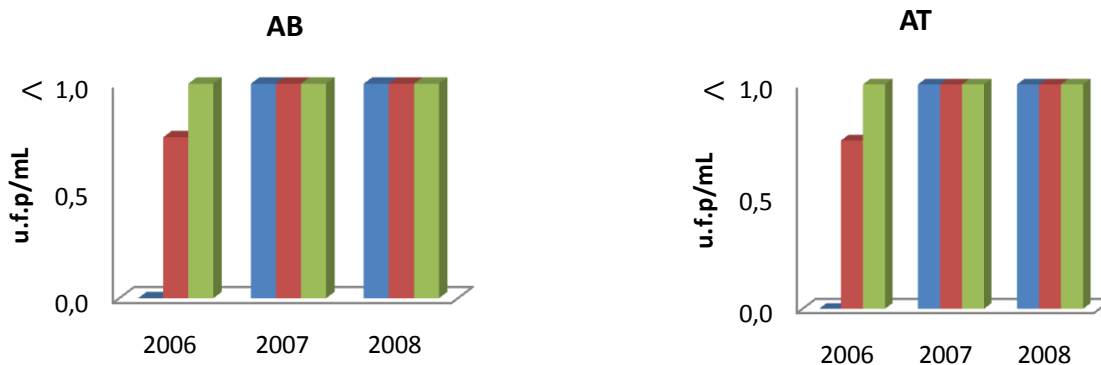


Figura 11 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Bacteriófago FRNA* realizado em Laboratório externo medido em u.f.p./mL na AB e AT nos anos 2006, 2007 e 2008.

Por analogia da figura 10, a representação gráfica da figura 11, representa um caso semelhante, ou seja, na ETA de Tavira não se detectou a existência de Bacteriófagos FRNA.

A figura 12 representa resultados das análises a Bacteriófagos somáticos realizadas num laboratório externo à Águas do Algarve.

Bacteriófagos somáticos - Lab. Externo

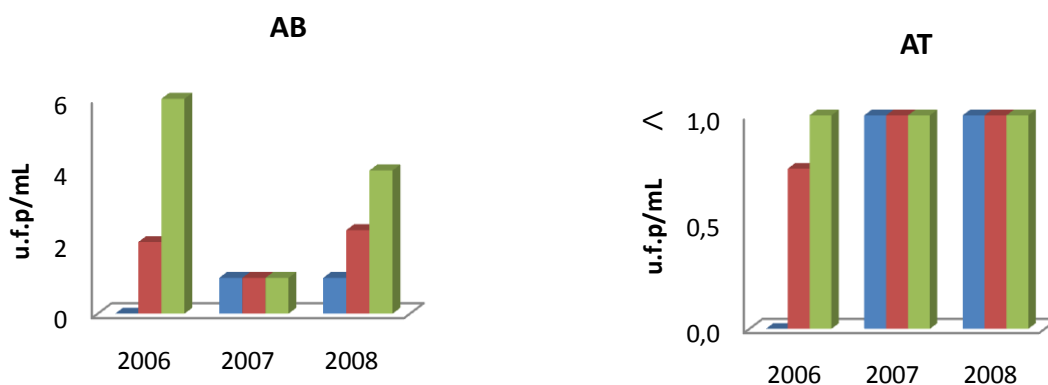


Figura 12 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Bacteriófagos somáticos realizado em Laboratório externo medido em u.f.p./mL na AB e AT nos anos 2006, 2007 e 2008.

Pela análise do gráfico da AB verifica-se que o parâmetro não é constante.

Pela análise dos gráficos da AT, o processo de tratamento é eficaz neste parâmetro, visto que o valor de 1 u.f.p/mL é o limite de detecção, tal como os parâmetros anteriores.

Nas figuras 11 e 12 é possível verificar na AB que os colifagos somáticos superam os colifagos F-RNA, por um factor aproximadamente cinco vezes. Como referido estado de arte os colifagos somáticos multiplicam-se em ambientes aquáticos naturais através de hospedeiros em contra partida os colifagos F-RNA multiplicam-se apenas no esgoto.

A representação gráfica da figura 13 representa os resultados das análises realizadas num laboratório externo às Águas do Algarve em relação ao Enterovírus.

Enterovírus - Lab. Externo

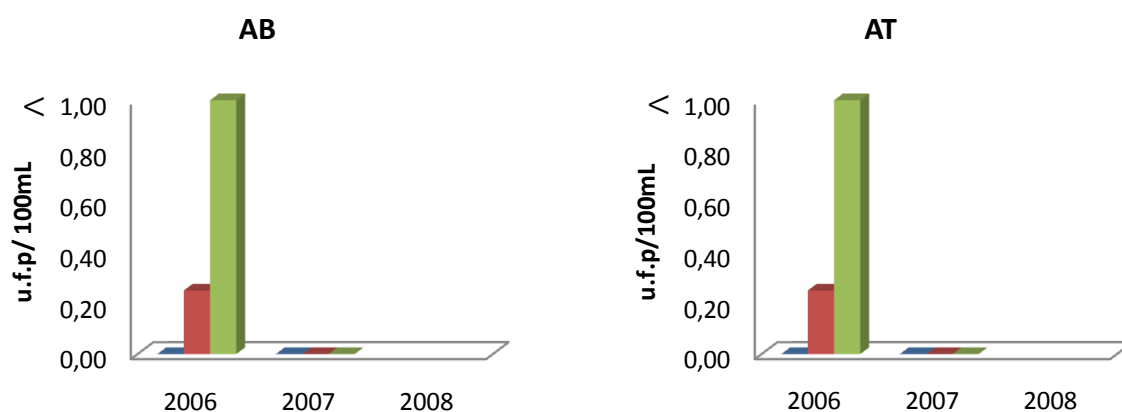


Figura 13 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) dos Enterovírus realizados em laboratório externo medido em u.f.p./100mL na AB e AT nos anos 2006 e 2007.

O parâmetro Enterovírus não foi detectado na ETA de Tavira.

Pela análise do grupo dos vírus apenas foi detectado na ETA de Tavira o parâmetro Bacteriófagos somáticos.

A figura 14 representa os gráficos de Fitoplâncton da família *Cyanophyceae*, porque é a família dominante. Na ETA de Tavira este parâmetro não é considerado como análise de parâmetros microbiológicos, mas nos parâmetros biológicos, através da técnica analítica de microscopia de inversão (Website 1). O Fitoplâncton foi analisado porque afecta a turbidez da água e compromete a qualidade da mesma através de fenómenos chamados blooms de fitoplâncton tóxico, produção de microcistinas.

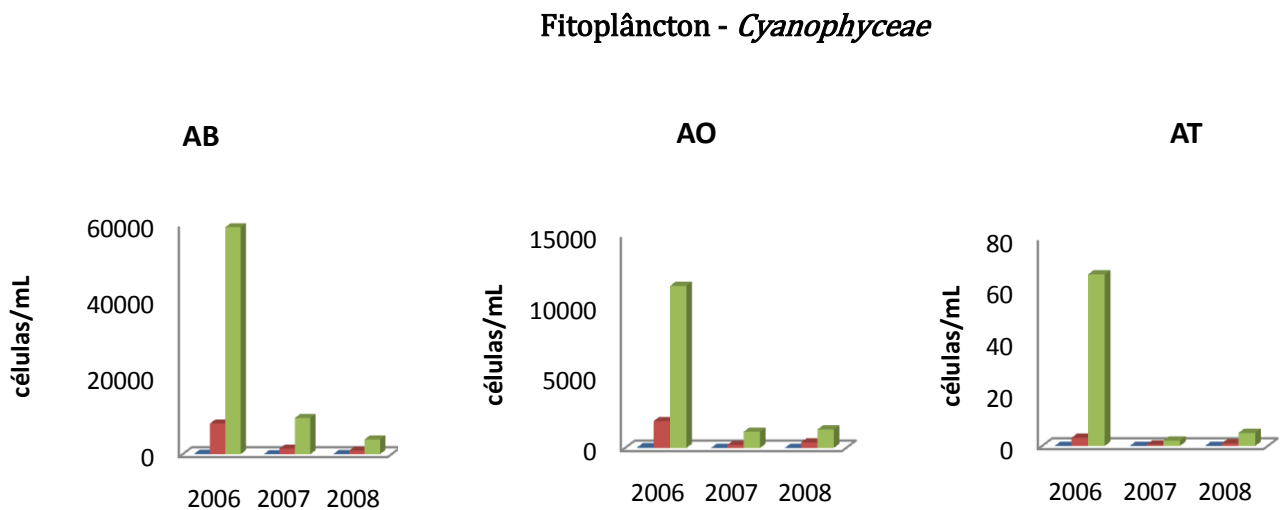


Figura 14 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de Fitoplâncton *Cyanophyceae* medido em células/mL na AB, AO e AT da ETA de Tavira nos anos 2006, 2007 e 2008.

A figura 14 realça que ao longo dos anos ocorreu uma diminuição de fitoplâncton nas três etapas de tratamento, assim como uma redução na ordem de magnitude dos mesmos.

O parâmetro Fitoplâncton *Cyanophyceae* não é removido na sua totalidade, tendo apresentado valores na AT. Revelando a eventual incapacidade da ETA de Tavira para eliminar/remover totalmente este parâmetro.

A figura 15 demonstra as análises ao parâmetro *Cryptosporidium*, realizadas num laboratório externo à Águas do Algarve.

Cryptosporidium - Lab. Externo

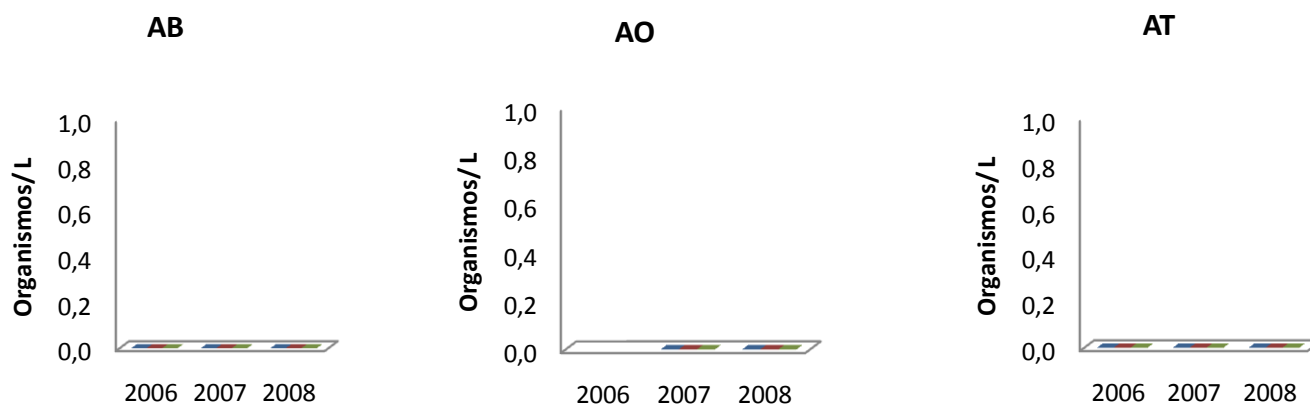


Figura 15 – Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Cryptosporidium* realizados em laboratório externo medido em Organismos/L na AB, AO, AT nos anos 2006, 2007 e 2008.

Observa-se na figura 15 que não se obteve detecção de *Cryptosporidium* na ETA de Tavira nos anos analisados. Assim não é possível estudar a sua inactivação com ozono.

A figura 16 representa o parâmetro *Giardia lamblia*, resultados obtidos num laboratório externo à ETA de Tavira.

Giardia lamblia

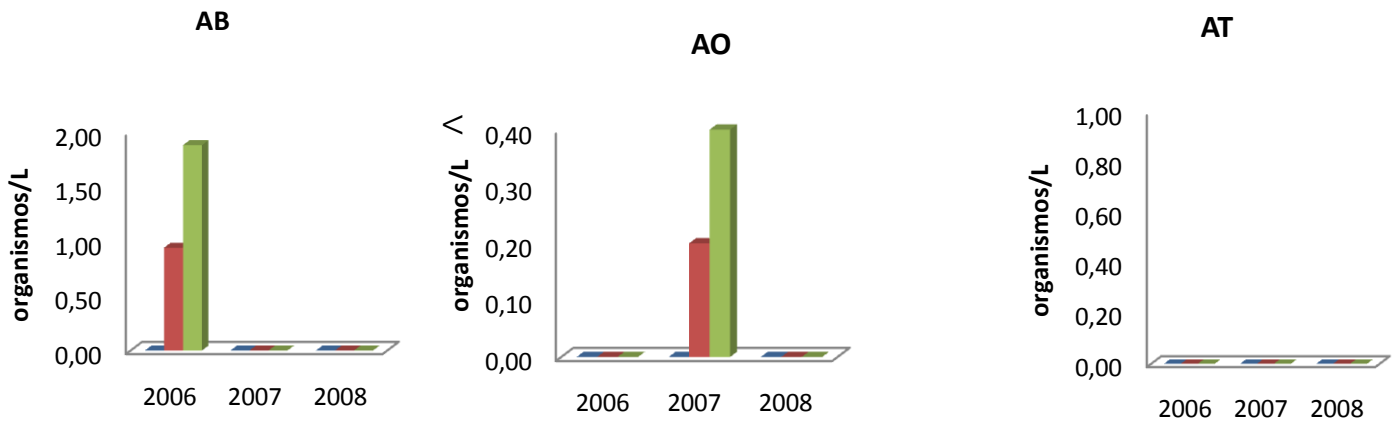


Figura 16 - Representação gráfica dos valores mínimos (■), médios (■) e máximos (■) de *Giardia lamblia* realizado em Laboratório externo medido em organismos/L na AB, AO e AT nos anos 2006, 2007 e 2008.

Giardia lamblia detecta-se na AB no ano de 2006. O gráfico relativo à AO indica que não existe registo do parâmetro assim como da AT.

A análise geral das representações gráficas dos valores mínimos, médios e máximos dos parâmetros foi pouco conclusiva visto que não existe nenhum dado que justifique que os valores aumentem e depois diminuam ao longo das etapas da ETA de Tavira, sendo os valores máximos por vezes pontuais e sem justificação aparente.

O quadro 10 resume a tendência dos comportamentos das etapas de tratamento que não registam determinados parâmetros.

Quadro 10 – Resumo da tendência dos gráficos mínimos, médios e máximos na AB, AO e AT para os diferentes parâmetros

Comportamento	Parâmetros	Figura
Parâmetros que não registam presença na AO nem na AT	- <i>E.coli</i> ;	5
	- <i>Giardia lamblia</i> ;	16
	-Bactérias coliformes;	3
Parâmetros que não registam presença na AT	- <i>Clostridium perfringens</i> ;	4
	- <i>Enterococcus</i> ;	6
	- <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9
	- Bacteriófago <i>B. fragilis</i> ;	10
Parâmetros que não ocorrem na AB e AT	- Bacteriófagos de FRNA;	11
	- Bacteriófagos somáticos;	12
	- Enterovírus;	13
	- <i>Cryptosporidium</i> ;	15

Foram ainda analisados os resultados das análises às toxinas: Microcistina dissolvida e particulada, Anatoxina-a dissolvida e particulada, no entanto, o seu estudo não revela valores úteis para esta tese, por isso as representações gráficas encontram-se em anexo.

Os parâmetros Estafilococos Produtores de coagulase, *Cryptosporidium parvum*, *Klebsiella spp*, *Vibrio cholerae*, *Fasciola spp*, apresentam poucos dados na ETA de Tavira sendo as suas representações gráficas remetidas para anexo, assim como o Fitoplâncton das classes: *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Dinophyceae*, *Euglenophyceae* e Outras Não Identificadas.

4.2 Cálculo das eficiências de redução microbiológica

Neste subcapítulo, são estudadas as representações gráficas dos cálculos das eficiências de remoção microbiológica perante cada grupo de microrganismos para redução global e parcial da pré-oxidação química.

Não foi possível calcular a eficiência de remoção apenas da etapa de desinfecção visto que a maior parte dos parâmetros microbiológicos à saída dos filtros não registam valores positivos e os parâmetros que apresentavam não tinham correspondência de dias de análise para se poderem calcular as eficiências.

Os gráficos seguintes representam a eficiência de redução microbiana parcial de pré-oxidação e global ao longo do tempo em análise.

A figura 17 representa graficamente a eficiência de remoção relativa ao parâmetro Bactérias coliformes.

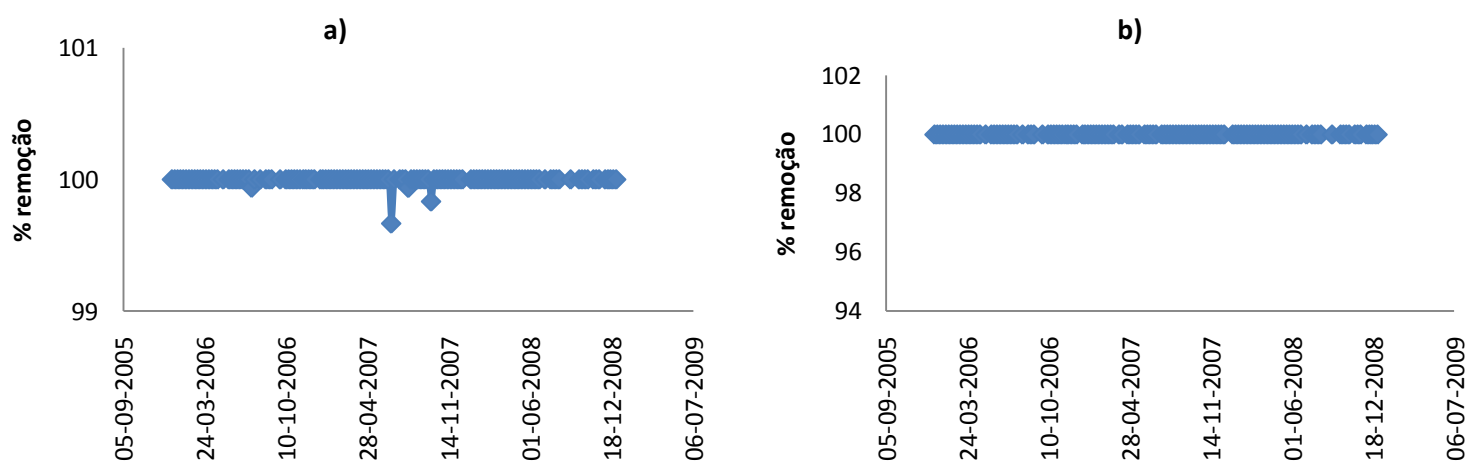


Figura 17 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Bactérias coliformes a) parcial na pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

Observa-se na representação gráfica da figura 18, uma redução de Bactérias coliformes, quase sempre 100% na etapa de pré-oxidação e sempre de 100% na água tratada, o que confirma uma boa remoção deste tipo de microrganismo.

Este grupo de microrganismos que se encontram largamente distribuídos no ambiente, são utilizadas como indicador da possível contaminação fecal da água. A investigação dos casos que não foram de 100% na pré-oxidação concluíram que os casos em análise foram pontuais, não repetitivos, e não apresentaram qualquer risco para a saúde dos consumidores, visto não se tratar de água tratada para consumo humano.

A figura 18 representa graficamente a eficiência de remoção relativa ao parâmetro *Clostridium perfringens*.

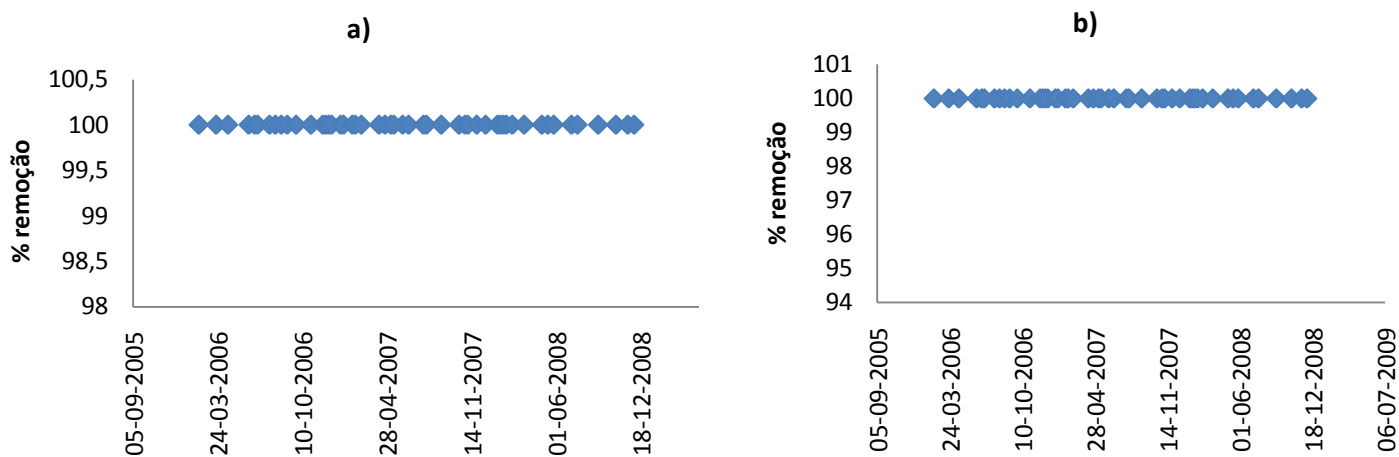


Figura 18- Representação gráfica da eficiência de remoção de *Clostridium perfringens* a) parcial na pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

Clostridium perfringens tem sido proposto como índice de vírus entéricos e protozoários em tratamento água potável (WHO, 2006). Pela análise da figura 18 verifica-se que a eficiência de remoção é sempre de 100% para o parâmetro *Clostridium perfringens* ao longo do período analisado, verificando-se uma boa remoção deste parâmetro.

A remoção deste parâmetro verifica-se a 100%, por analogia, é de prever que os vírus entéricos e protozoários, se existirem, serão eliminados na ETA de Tavira (WHO, 2006).

A figura 19 representa graficamente a eficiência de remoção relativa ao parâmetro *E. coli*.

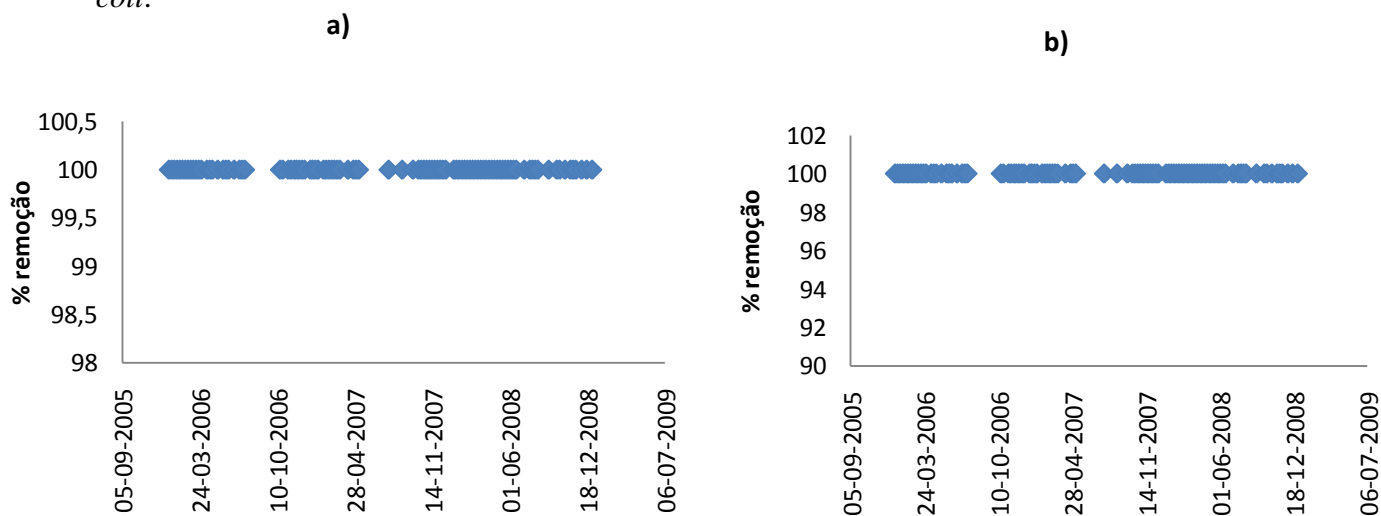


Figura 19 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *E. coli* a) parcial na pré-oxidação, b) global ao longo do tempo

As bactérias *E. coli*, tal como os outros parâmetros microbiológicos, são sensíveis ao ozono aplicado na etapa de pré-oxidação, sendo esta etapa importante na remoção de bactérias fecais. Isto pode verificar-se pela análise da figura 19 que mostra ao longo de todo o período em estudo, remoções globais de 100%, o que indica que este microrganismo é removido na ETA de Tavira com eficácia.

As representações gráficas da figura 20 dizem respeito ao parâmetro *Enterococcus*.

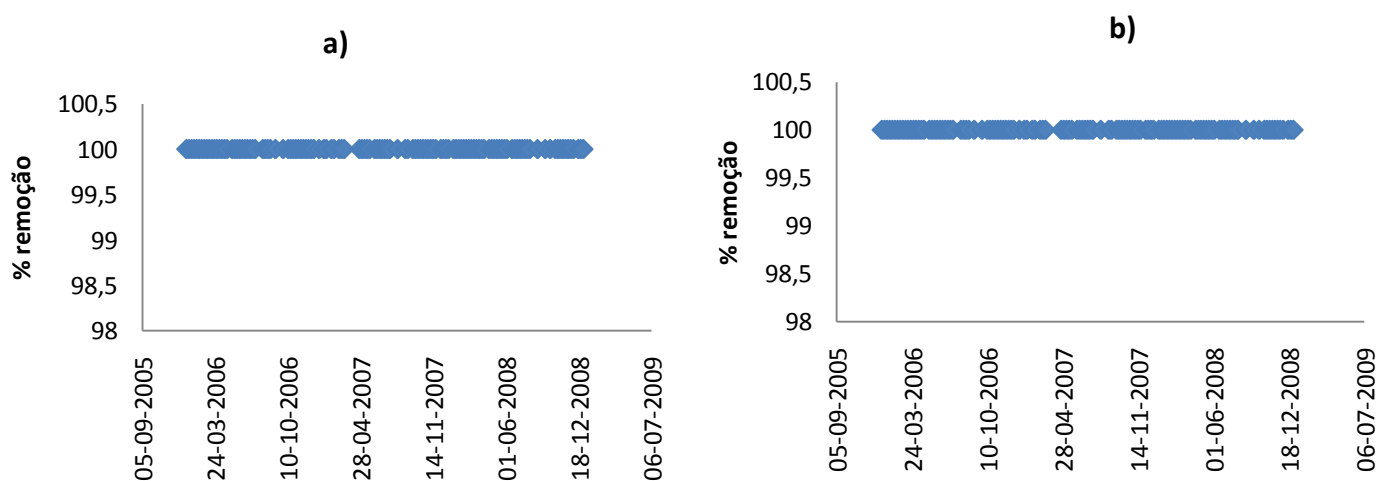


Figura 20 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *Enterococcus* a) na pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

Pela análise da figura 20 verifica-se que a eficiência de remoção é sempre de 100% para *Enterococcus* ao longo do período analisado, verificando-se uma remoção total eficiente deste parâmetro na ETA de Tavira.

A figura 21 representa graficamente a eficiência de remoção relativa ao parâmetro *Pseudomonas aeruginosa*.

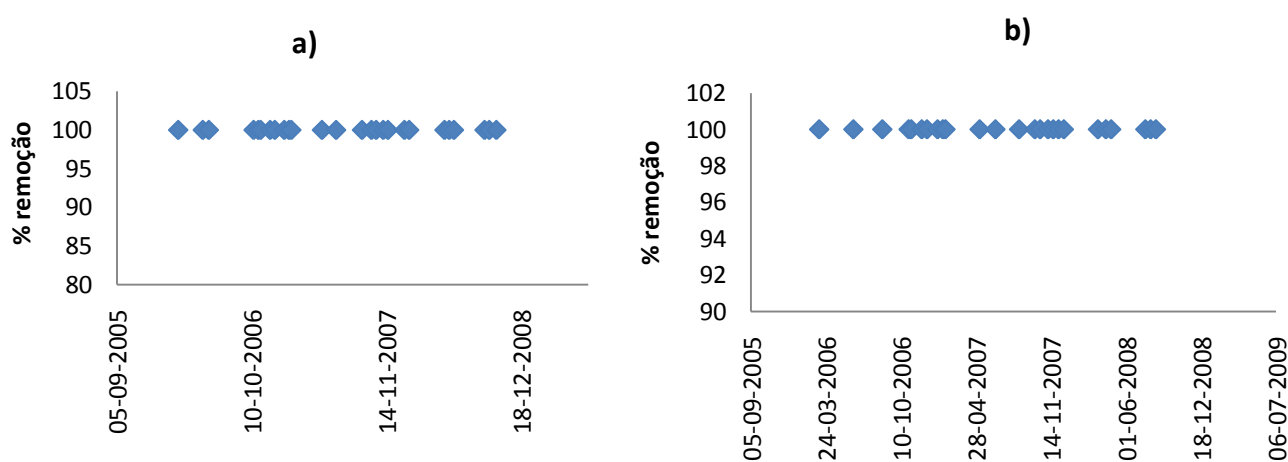


Figura 21 - Representação gráfica da eficiência de remoção de *Pseudomonas aeruginosa* a) na etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

Pela análise da figura 21 verifica-se que a eficiência de remoção é sempre de 100% para *Pseudomonas aeruginosa* ao longo do período analisado, verificando-se uma remoção eficiente deste parâmetro na ETA de Tavira.

Os parâmetros analisados demonstram que o processo tem uma capacidade de remoção eficaz na etapa de pré-oxidação, comprovando que as bactérias são sensíveis à inativação com ozono (EPA, 1999) apesar de não se saber o mecanismo de inativação do mesmo (WHO, 2004). Constata-se que globalmente a ETA tem uma eficiência de 100% no tratamento da água para consumo humano.

A figura 22 representa graficamente a eficiência de remoção relativa ao parâmetro Número de Colónias a 22°C.

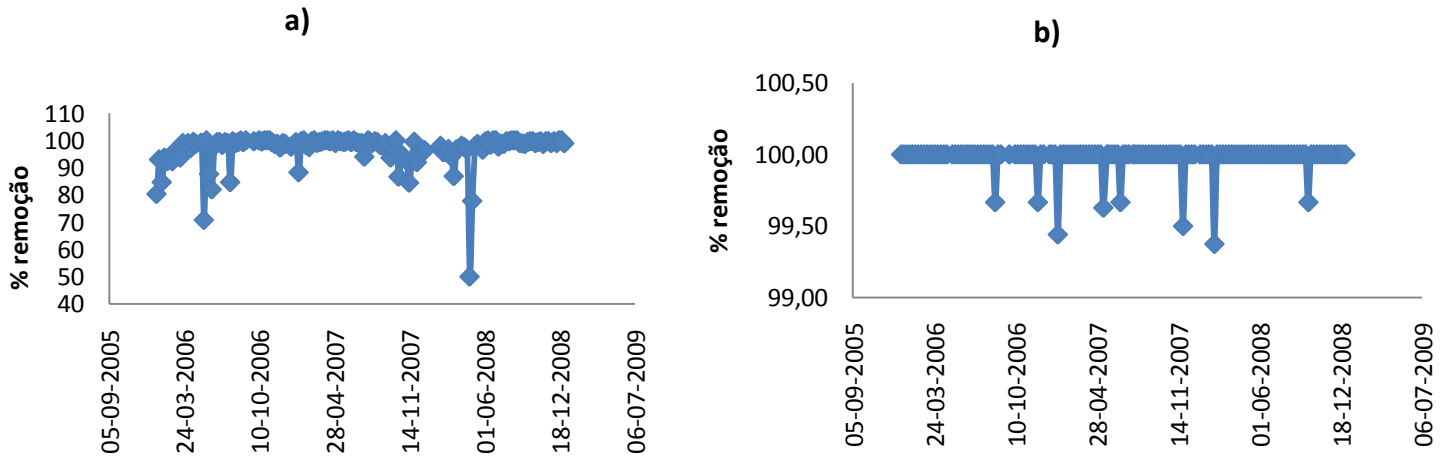


Figura 22 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Número de colónias a 22°C a) na etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

As colónias detectadas a 22° C correspondem, geralmente às bactérias presentes naturalmente na água, tendo pouco significado na saúde pública.

O parâmetro Número de Colónias a 22° C apresenta uma grande oscilação na eficiência de remoção na etapa de pré-oxidação com valores entre 50 e 100%.

A eficiência de remoção global atingiu valores entre 99 e 100% logo considera-se uma boa remoção.

A representação gráfica da figura 23 apresenta a eficiência de remoção relativa ao parâmetro Número de colónias a 37°C.

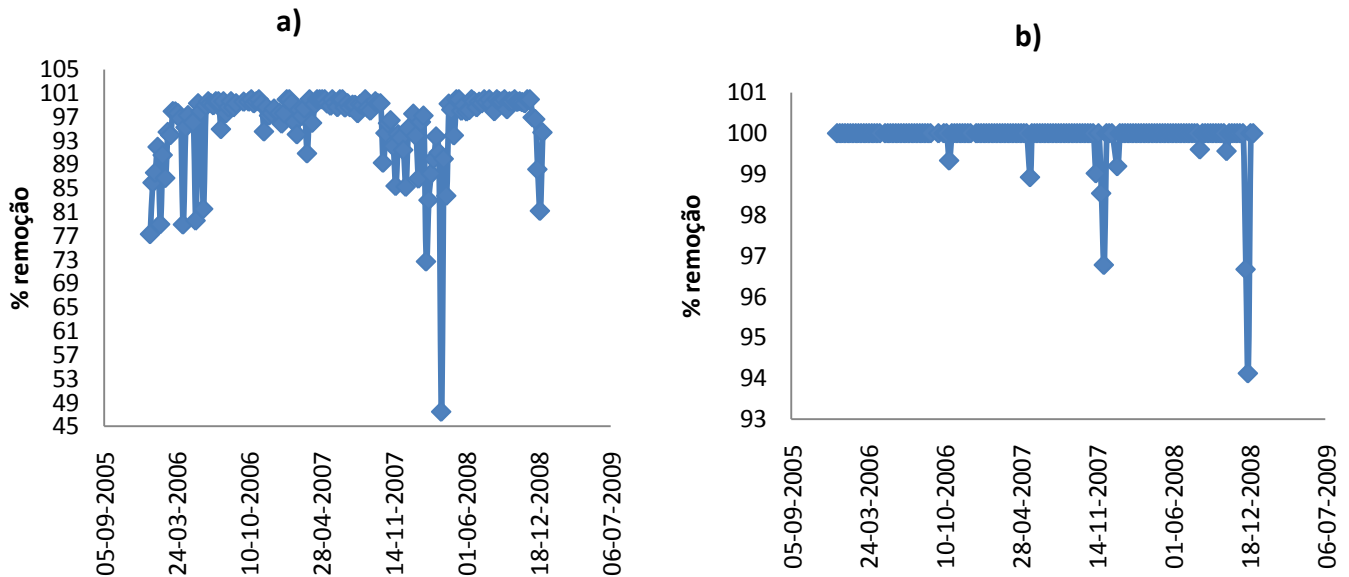


Figura 23 - Representação gráfica da eficiência de remoção de Número de colónias a 37°C a) na etapa de pré-oxidação, b) global ao longo do tempo.

Como o parâmetro anterior, o Número de colónias a 37°C apresenta também uma oscilação entre os 49 e os 100% de eficiência de remoção na etapa de pré-oxidação e de 94 e 100% na eficiência de redução global.

As colónias a 37° C quando comparadas com as colónias a 22°C podem ser um bom indicador de qualidade. Podem dar uma indicação precoce duma deterioração da qualidade da água, (ou súbitas mudanças na sua qualidade), antes mesmo que as bactérias coliformes ou outras bactérias indicadoras, sejam detectadas.

Apesar das oscilações na eficiência, mais visíveis na etapa de pré-oxidação, estão em conformidade com a legislação em vigor e com a especificação do produto “água para consumo humano”, porque os resultados não são alterações anormais.

Na próxima figura 24 os gráficos são da eficiência de remoção relativa ao parâmetro Fitoplâncton *Cyanophyceae*.

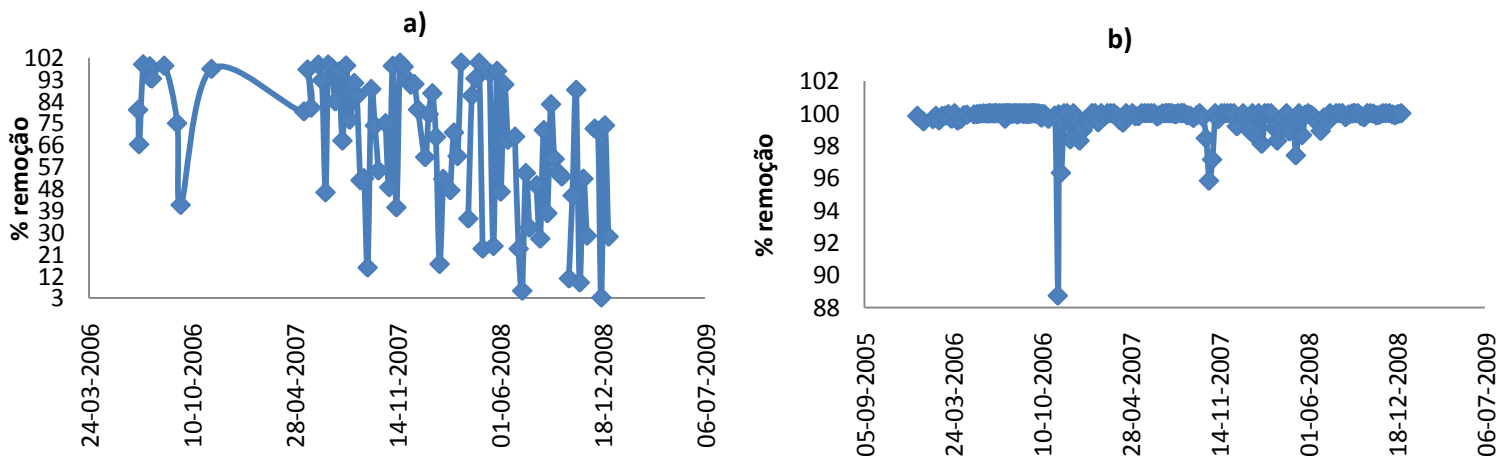


Figura 24 - Representação gráfica da eficiência de remoção a) pré-oxidação, b) global de Fitoplâncton *Cyanophyceae* ao longo do tempo.

O Fitoplâncton *Cyanophyceae* na etapa de pré-oxidação apresenta valores de eficiência de remoção muito oscilatórios, entre os 3 aos 100% e apresenta valores entre 88,7 a 100% na eficiência de remoção global.

Este resultados mostram que as etapas que removem deste parâmetro são C/F/S ou desinfecção, apesar de não ser possível calcular em cada etapa a sua eficiência, mas se na etapa de pré-oxidação a eficiência de remoção não é 100% e eficiência de remoção global é elevado então a remoção é devida a pelo menos uma destas etapas.

Os parâmetros analisados que tiveram mais oscilações na redução microbiológica na etapa de pré-oxidação foram Fitoplâncton *Cyanophyceae*, Número de colónias a 22°C e 37°C. Estes valores são facilmente analisados verificando que se esta etapa fosse adequada a estes parâmetros a sua redução seria cerca de 90 a 100%. No entanto globalmente as percentagens de eficiência de remoção são valores próximos das ideias, ou seja, aproximadamente 100%, o que podemos afirmar que o processo de tratamento de água na ETA de Tavira é eficiente.

O quadro 11 representa o resumo do comportamento dos parâmetros em função da eficiência da remoção.

Quadro 11 – Resumo do comportamento dos parâmetros em função das eficiências de remoção

Observações	Parâmetro	Figura
Remoção total na etapa de pré-oxidação	- <i>Clostridium perfringens</i> ;	18
	- <i>E. coli</i> ;	19
	- <i>Enterococcus</i> ;	20
	- <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	21
Remoção oscila na etapa de pré-oxidação	-Número de colónias a 22°C;	22
	-Número de colónias a 37°C;	23
	-Fitoplancton <i>Cyanophyceae</i> .	24
Remoção total no tratamento	-Bactérias coliformes;	17
	- <i>Clostridium perfringens</i> ;	18
	- <i>E. coli</i> .	19
	- <i>Enterococcus</i> ;	20
	- <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ;	21

O quadro 12 representa os dias analisados com as irregularidades após ozonização, ou seja, parâmetros para os quais houve aumento ou manutenção dos seus valores após a ozonização, o tipo de microrganismo e dados físico-químicos. Os resultados apresentados neste quadro não foram apresentados nos gráficos da eficiência de remoção, visto que o seu rendimento esperado é zero ou negativo.

Quadro 12 - Tipos de microrganismos que tiveram irregularidades em diferentes dias e parâmetros físico-químicos que podem ser as suas possíveis causas.

Dias	Parâmetro microbiológico	Parâmetro físico-químico
02/01/2006	Nº de colónias a 22°C Nº de colónias a 37°C <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Temperatura: 15°C
		pH: 7,6
		Turvação: 56 NTU
		Ozono residual: 0,14 mg/L
		Caudal: 2300m ³ /h
		Tempo de contacto: 15,65 min.
		Taxa de doseamento de Ozono: -
20/02/2006	<i>Clostridium perfringens</i>	Temperatura: 12,9°C
		pH: 7,5
		Turvação: 19 NTU
		Ozono residual: 0,26 mg/L
		Caudal: 2800m ³ /h
		Tempo de contacto: 12,86 min
		Taxa de doseamento de Ozono: -
11/09/2006	Bactérias coliformes	Temperatura: 25,8°C
		pH: 7,5
		Turvação: 2,4 NTU
		Ozono residual: 0,09 mg/L
		Caudal: 4200m ³ /h
		Tempo de contacto: 8,57 min
		Taxa de doseamento de Ozono: -

Quadro 12 (continuação)

Dias	Parâmetro microbiológico	Parâmetro físico-químico
18/09/2006	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 23°C
		pH: 7,6
		Turvação: 3,7 NTU
		Ozono residual: 0,15 mg/L
		Caudal: 4400m ³ /h
		Tempo de contacto: 8,18 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: - ppm
17/09/2007	Nº de colónias a 22°C Nº de colónias a 37°C	Temperatura: 18,3°C
		pH: 7
		Turvação: 1,2 NTU
		Ozono residual: 0,23 mg/L
		Caudal: m ³ /h
		Tempo de contacto: min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,6 ppm
15/10/2007	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 18,6°C
		pH: 6,9
		Turvação: 13 NTU
		Ozono residual: 0,20 mg/L
		Caudal: m ³ /h
		Tempo de contacto: min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,6 ppm
29/10/2007	Nº de colónias a 22°C	Temperatura: 18,2°C
		pH: 6,9
		Turvação: 11 NTU
		Ozono residual: 0,25 mg/L
		Caudal: m ³ /h
		Tempo de contacto: min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,6 ppm

Quadro 12 (continuação)

Dias	Parâmetro microbiológico	Parâmetro físico-químico
18/02/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 13,7 °C
		pH: 7,6
		Turvação: 5 NTU
		Ozono residual: 0,16 mg/L
		Caudal: 2400 m ³ /h
		Tempo de contacto: 15 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,4ppm
24/03/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 13,6°C
		pH: 7,4
		Turvação: 4 NTU
		Ozono residual: 0,21 mg/L
		Caudal: 3800 m ³ /h
		Tempo de contacto: 9,47min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,4 ppm

Quadro 12 (continuação)

Dias	Parâmetro microbiológico	Parâmetro físico-químico
07/04/2008	<i>Enterococcus</i>	Temperatura: 15,6°C
		pH: 7,3
		Turvação: 3 NTU
		Ozono residual: 0,16 mg/L
		Caudal: 4200m ³ /h
		Tempo de contacto: 8,57 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,3ppm
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,1ppm
23/06/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 18°C
		pH: 7,2
		Turvação: 1,2 NTU
		Ozono residual: 0,16 mg/L
		Caudal: 4400 m ³ /h
		Tempo de contacto: 8,18min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,4 ppm
04/08/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 19,1°C
		pH: 7,1
		Turvação: 1,3 NTU
		Ozono residual: 0,28 mg/L
		Caudal: 6000 m ³ /h
		Tempo de contacto: 6 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,8 ppm

Quadro 12 (Continuação)

Dias	Parâmetro microbiológico	Parâmetro físico-químico
06/10/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 19,5°C
		pH: 7,3
		Turvação: 1,5 NTU
		Ozono residual: 0,20mg/L
		Caudal: 4000 m ³ /h
		Tempo de contacto: 9 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,6 ppm
24/11/2008	Fitoplâncton <i>Cyanophyceae</i>	Temperatura: 14,5°C
		pH: 7,5
		Turvação: 1,2NTU
		Ozono residual: 0,20 mg/L
		Caudal: 3200 m ³ /h
		Tempo de contacto: 11,25 min
		Tx. de Doseamento de Ozono: 1,6 ppm

Os parâmetros físico-químicos analisados para justificar a ocorrência de microrganismos na etapa de pré-oxidação são respectivamente os seguintes:

pH – pode afectar a forma de acção do desinfectante e, por sua vez, a eficácia do desinfectante.

Turvação - As partículas responsáveis pela turbidez podem cercar e proteger os microrganismos patogénicos dos desinfectantes.

Tempo de contacto - Aumentando o tempo contacto com o desinfectante diminui a dose exigida para um determinado nível de inactivação.

Temperatura – O aumento da temperatura aumenta a taxa de desinfecção.

Dose de desinfectante – o aumento da dose aumenta a taxa de desinfecção (EPA, 1999).

Pela análise efectuada, pode-se justificar que um destes parâmetros está relacionado. Na data 02/01/2006, apresenta uma turvação elevada, visto que em média a turvação na ETA de Tavira é 10 NTU e neste caso encontrava-se a 56 NTU. Na data 11/09/2006 a possível causa para a irregularidade é o facto de o ozono residual estar inferior ao parâmetro mínimo. Os restantes valores pontuais não têm justificação aparente.

4.3 Cálculo da Dose de Desinfectante (CT) da ETA de Tavira

Nesta secção foi calculada uma média anual da taxa de doseamento do ozono e do cloro na ETA de Tavira, utilizando o caudal de entrada dos registos do 1º, 15º e último dia de cada mês nos anos analisados.

Realizou-se também o cálculo do tempo teórico (TDT), do tempo real (t) e da dose de desinfectante respectiva (CT) para os três anos analisados, segundo os resultados apresentados nos quadros A 4, A 5 e A6 (em anexo) utilizando como volume das cisternas, 2000 m³, e o *Baffling Factor* (BF) de 0,3 para o cálculo do tempo.

O quadro 13 apresenta um resumo dos quadros em anexo, sendo apenas a média anual dos dados calculados.

Quadro 13 – Média anual dos dados ao longo dos anos 2006 a 2008, tempo teórico de contacto, tempo de contacto, taxa de ozono e cloro residual e cálculo dos respectivos CT.

Ano	Caudal 1ª fase (m ³ /h)	Caudal 2ª fase (m ³ /h)	Caudal água bruta (m ³ /h)	TDT (min)	t (min)	Taxa de ozono residual (mg/L)	CT _{ozono} (mg.min/L)	Taxa de cloro residual (mg/L)	CT _{cloro} (mg.min/L)
2006	1662,50	2023,61	3708,33	34,04	10,21	0,21	2,14	1,29	13,14
2007	1866,67	2060,00	3969,70	31,29	9,39	0,26	2,48	1,19	11,19
2008	2091,67	2194,44	4286,11	29,02	8,71	0,25	2,18	1,08	9,38

Como foi referido no estado de arte, a EPA registou valores de CT para a inativação de cistos de *Giardia* e vírus. No entanto aquando a realização desta tese não foi possível obter-se valores para calcular a eficiência de remoção para os parâmetros referidos anteriormente. Procedeu-se então á comparação dos CT (quadro 6 e 8) com os valores obtidos (quadro 13) de modo a obter a eficiência de remoção esperada.

No quadro 16, o CT_{ozono} calculado varia entre 2,14 e 2,48 mg.min/L sendo superior ao valor tabelado que corresponde um CT_{ozono} de 0,95 mg.min/L , referente *Giardia lamblia*, a 15°C. Assim, é de esperar uma remoção superior a 99,9 % na etapa de pré-oxidação, usando o ozono, ou seja a utilização deste desinfectante têm sido estudado desde os anos 80 na etapa de pré-oxidação e os valores de CT têm comprovado que é bastante eficiente na inativação do microorganismo (Finch e Belosevic, 2002).

A eficiência de remoção de vírus, comparando de igual forma, utilizando o quadro 8 demonstra o CT calculado é superior ao citado, a eficiência de remoção de vírus da ETA de Tavira, é de esperar de 99,99%.

5. Conclusão e recomendações finais

O presente trabalho cumpriu o objectivo do estudo da capacidade de redução microbiológica nas etapas de pré-oxidação e global da ETA de Tavira.

Em termos gerais conclui-se que a água de origem (água bruta) tem tido melhoria ao longo dos anos, no período analisado (2006-2008), nos parâmetros: Bactérias coliformes, *Clostridium perfringens*, *Enterococcus*, *Pseudomonas aeruginosa*, Bacteriófagos somáticos, Fitoplâncton *Cyanophyceae* e *Giardia lamblia* representado uma melhor qualidade da água.

E. coli é considerada um dos parâmetros mais adequados de índice de contaminação fecal a sua boa eliminação demonstra que a ETA de Tavira nos anos analisados não esteve sujeita a contaminações fecais.

Na análise das eficiências de remoção só foi possível estudar os parâmetros Bactérias e Fitoplâncton. No entanto, dado que a bactéria *Clostridium perfringens* é usada como índice de remoção de vírus entéricos e protozoários em tratamento água potável (WHO, 2006), e como a remoção deste parâmetro se verificou a 100%, por analogia, será de esperar que os vírus entéricos e protozoários, quando existirem, serão eliminados no processo de tratamento da ETA de Tavira.

Na ETA de Tavira, apesar de não terem sido registados valores detectáveis para o grupo dos vírus (à excepção de Bacteriófagos somáticos), nas mesmas condições de operação, prevê-se que terá uma eficiência de remoção de 99,99% para este grupo microbiano.

Na etapa de pré-oxidação com ozono pode-se concluir que os principais agentes microbiológicos são eliminados, sendo uma das etapas principais para remover ou inactivar microrganismos.

A etapa de pré-oxidação é limitada por diversos factores físico-químicos já enumerados ao longo desta dissertação. Dos poucos casos em que se verificou a incapacidade de remoção dos parâmetros, apenas dois destes tiveram como possível causa nos factores indicados, sendo os restantes valores pontuais e sem justificação aparente, no entanto não colocam em causa a qualidade da água, por se tratar apenas de uma etapa inicial do tratamento e não representa a qualidade da água tratada.

O cálculo do CT demonstrou ser útil, visto que por comparação entre os dados teóricos e os reais da ETA de Tavira, permite concluir que o uso de ozono nas dosagens aplicadas consegue remover *Giardia lamblia* com uma óptima eficiência de remoção, (> 3 log).

Conclui-se ainda que a escolha estratégica de controlo de agentes microbiológicos recorrendo à desinfecção com ozono como oxidante químico na etapa de pré-oxidação e o cloro como oxidante químico na desinfecção final é uma estratégia bem concebida no sistema implementado, visto que, quando o ozono tem pequenas falhas na oxidação, a desinfecção final elimina qualquer irresolução de contaminação por parâmetros microbiológicos.

Pode-se concluir também que a ETA de Tavira está a garantir a segurança da qualidade da água em todos os seus parâmetros microbiológicos regulamentados pelo Decreto de Lei nº 306/2007, de 27 de Agosto de 2007 e pela especificação ERP 5001 do produto “água para consumo humano”.

Apesar de não ter sido possível calcular a eficiência de remoção após C/F/D é certo que os processos de filtração são importantes e um controlo da transmissão da maioria dos agentes patogénicos que produzem cistos, oocistos ou ovos que são extremamente resistentes aos processos utilizados na desinfecção da água (WHO, 2006).

Quanto ao parâmetro Fitoplâncton, na análise das representações gráficas da eficiência de remoção de pré-oxidação verificou-se que esta etapa não é eficiente neste caso. Sugere-se um estudo mais aprofundado, para a eventual aplicação de novas técnicas de remoção de microrganismos antes da pré-oxidação, promovendo uma remoção física de alguns microrganismos e conferindo depois uma maior eficácia de remoção pela ozonização.

O esquema de tratamento da ETA de Tavira é designado o esquema de tratamento convencional da água, uma vez que utiliza tecnologias que já provaram, ao longo dos anos, a sua eficiência no tratamento da água. Há, no entanto, um conjunto de tecnologias, designadas de não convencionais, que têm vindo a revelar grandes eficiências e são muito promissoras num futuro relativamente próximo. A tecnologia de membranas encontra-se dentro destas tecnologias não convencionais (Teixeira, 2001).

A tecnologia de membranas é vantajosa na remoção de partículas, nomeadamente de microrganismos, uma vez que o tamanho dos microrganismos varia entre 8 nm (vírus) e 12

µm (bactérias) e o tamanho de poro das membranas de ultrafiltração varia entre 5 e 200 nm (Teixeira, 2001).

A tecnologia de membranas também tem sido muito utilizada na remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium* e é apontada como uma solução de tratamento, uma vez que estes microrganismos formam cistos resistentes à cloração (Teixeira, 2001).

6.Referências Bibliográficas

- ◆ AdA (Águas do Algarve) e LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil); *Controlo de Agentes biológicos resistentes e subprodutos da oxidação química no tratamento de água para consumo humano*, Lisboa, 2007.
- ◆ AdA (Águas do Algarve); Folheto informativo - Estação de Tratamento de Água de Tavira, s/d a.
- ◆ AdA (Águas do Algarve); Folheto informativo, Estações de Tratamento de Água de Tavira, s/d b.
- ◆ APCER (Associação Portuguesa de Certificação); *Especificação de Requisitos de Produto, Água para Consumo Humano Variante: sistemas de abastecimento público em alta*, 2008.
- ◆ AWWA (American water Works Association); *Water quality and treatment – A handbook of community water supplies*, 5ª Edição, McGraw-Hill, New York, 1999.
- ◆ Daniel, L. A.; *Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável*, RiMa Artes e Textos, 2001.
- ◆ Decreto-lei nº 306/2007, de 27 de Agosto de 2007 que estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano.
- ◆ EPA (United States Environmental Protection Agency); *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*, 1999.
- ◆ EPA (United States Environmental Protection Agency); *LTIESWTR Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual*, 2003.
- ◆ Ferreira, F. C, Sousa, J. C. F; *Microbiologia volume 1*, Lidel, 1998.
- ◆ Finch, G. R., Belosevic, M.; *Controlling Giardia spp. and Cryptosporidium spp. in drinking water by microbial reduction processes*, Journal of Environmental Engineering and Science, páginas:17–31,2002.
- ◆ Lee, C. C., Lin, S. D.; *Handbook of Environmental Engineering Calculations*, 2ª Edição, McGraw-Hill Companies, 2007.
- ◆ Lee, J., Deininger, R. A.; *Survival of Bacteria After Ozonation*, Ozone: Science & Engineering, volume 22, páginas 65 — 75, 2000.
- ◆ Hammer, M. J., Hammer, M. J. Jr; *Water and Wastewater Technology*, Pearson Education International, 5ª Edição, 2004.

- ◆ SETAL Degrémont; *Descrição de Funcionamento da ETA de Tavira*, s/d.
- ◆ Silva, C. D. P. da; *Aplicação de Medidas de Avaliação de Desempenho a Estações de Tratamento de Água da Águas do Algarve*, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade do Algarve, 2007.
- ◆ Teixeira, M. M. da C. G. R.; *Ultrafiltração no tratamento de águas para consumo humano*, Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Sanitária, Universidade Nova de Lisboa, 2001.
- ◆ WHO; *Guidelines for drinking-water quality*, 3ª Edição, World Health Organization, Geneva, 2006.
- ◆ WHO; *Emerging Issues in Water and Infectious Disease*, World Health Organization, Geneva, 2003.
- ◆ WHO; *Water Treatment and Pathogen Control*, World Health Organization, Geneva, 2004.

Website:

- ◆ Website1:http://www.aguasdoalgarve.pt/ada/pag/lab/fPagLab_Intro.aspx, Acedida: a 7 Agosto de 2009.