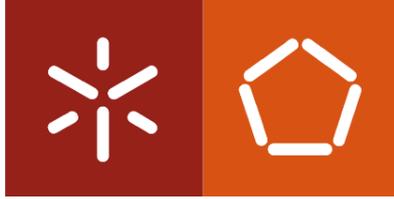




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ângela Fernandes Machado

**Avaliação da Eficiência Operacional da ETA
de Areias de Vilar após Alterações na Linha de
Tratamento**



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Ângela Fernandes Machado

**Avaliação da Eficiência Operacional da ETA
de Areias de Vilar após Alterações na Linha de
Tratamento**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Gestão Ambiental

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Doutora Ana Júlia Viana Cavaleiro
Professora Maria Olívia Pereira

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual
CC BY-NC-SA

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

AGRADECIMENTOS

À Águas do Norte - ETA de Areias de Vilar, pela oportunidade de estágio, permitindo desenvolver a minha dissertação em contexto real.

À Professora Olívia Pereira, pela orientação na escolha de tema e estágio para dissertação, e pela instrução inicial.

À minha orientadora, Doutora Ana Júlia Viana Cavaleiro, pela amabilidade e disponibilidade demonstrada, pela transmissão de conhecimentos e orientação ao longo dos últimos meses, por toda a motivação e por acreditar em mim.

À Eng^a Diana Cepa, pelo acolhimento na ETA, por todos os ensinamentos transmitidos, essenciais na concretização desta dissertação. Agradeço o apoio incansável, a disponibilidade, a flexibilidade, a amabilidade e sobretudo a valorização que demonstrou por mim ao longo destes meses.

Ao Eng.^o Ricardo Ferreira e ao Luís Gonçalves, pelo auxílio prestado sobretudo na realização dos ensaios aos equipamentos, pela disponibilidade e simpatia sempre demonstradas.

A toda a equipa de exploração da ETA (Thomas, Pedro, Ivan, Artur, José, Jorge, Sérgio e Nuno), pelo acolhimento e boa disposição diária, sempre dispostos a ajudar.

A todos os restantes colegas, em especial ao Eng.^o Nuno Aguiar, ao Eng.^o Jorge Lopes e ao Pedro Silva, pelo excelente acolhimento na ETA.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional nas minhas decisões, e por toda a paciência e carinho.

Ao meu irmão e cunhada por acreditarem em mim e me incentivarem a continuar.

A toda a minha família, em especial às minhas primas Juliana, Andreia e Daniela, por todo o apoio e incentivo.

Ao David, por toda a paciência e dedicação, por acreditar em mim e me apoiar nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, que me encorajaram a embarcar nesta aventura, em especial à Nela pela companhia nas horas de trabalho.

A todas as outras pessoas com quem me cruzei nesta jornada e que de alguma forma me ajudaram.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Avaliação da Eficiência Operacional da ETA de Areias de Vilar após na Linha de Tratamento

RESUMO

Garantir o abastecimento de água de qualidade constitui o objetivo primordial de uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Contudo, na atualidade é fundamental evoluir sob princípios de desenvolvimento sustentável, procurando soluções tecnológicas que assegurem a sustentabilidade económica e ambiental.

Com o objetivo de manter, ou melhorar, a eficiência operacional da ETA de Areias de Vilar, a Águas do Norte decidiu concretizar alterações na linha de tratamento através da instalação de (i) dois novos geradores de ozono no processo de pré-oxidação da água, (ii) um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (UV) após etapa de filtração da água e (iii) um filtro prensa no processo de desidratação de lamas. A presente dissertação teve como principal objetivo avaliar a eficiência de processo e retorno económico associado à instalação dos novos geradores de ozono, tendo sido simultaneamente caracterizada a qualidade da água bruta captada no rio Cávado e a qualidade da água ao longo do processo de tratamento, permitindo avaliar a eficiência operacional. Para tal procedeu-se à organização e análise dos dados de parâmetros organoléticos, físico-químicos e microbiológicos emitidos pelo Laboratório da Águas do Norte (LabAdNorte) no período compreendido entre 2014 e junho de 2019.

No período em estudo, a água bruta captada no rio Cávado apresentou menor qualidade no que respeita aos parâmetros pH, cheiro, azoto amoniacal, coliformes totais e fecais. Porém, o processo de tratamento demonstrou ser eficaz, obtendo-se água de excelência. Após a instalação dos novos geradores, o ozono residual tem sido detetado à saída das torres de pré-oxidação. No entanto, atendendo ao número reduzido de resultados analíticos disponíveis, será precoce comparar e retirar conclusões relativamente a esta alteração efetuada na linha de tratamento. Do ponto de vista operacional e económico, é mais vantajoso operar com menor caudal volumétrico de ozono e maior concentração. Perante caudais elevados de tratamento e situações mais exigentes de qualidade de água bruta, a operação com dois geradores de ozono evidencia-se mais vantajosa. A análise comparativa de eficiência dos três equipamentos permitiu concluir que um dos novos geradores é mais eficiente. O gerador antigo apresenta consumos, e consequentemente custos totais de produção mais elevados, sendo a sua seleção para operação a última escolha.

Palavras-Chave: Consumo humano, estação de tratamento de água, ozono, pré-oxidação, qualidade da água.

Evaluation of the Operational Efficiency of Areias de Vilar Water Treatment Plant After Modification of the Treatment Line

ABSTRACT

Ensuring high quality water supply is the prime objective of a water treatment plant (WTP). However, today it is essential to evolve under principles of sustainable development, seeking technological solutions that ensure economic and environmental sustainability.

In order to maintain or improve the operational efficiency of the Areias de Vilar WTP, the company Águas do Norte intends to modify the treatment line by installing (i) two new ozone generators in the pre-oxidation process, (ii) an ultraviolet (UV) disinfection system after the water filtration step and (iii) a filter press in the sludge dewatering process. This work aimed to evaluate the process efficiency and economic return associated with the installation of the new ozone generators. The quality of the raw water from Cávado river and the water quality throughout the treatment process were characterized as well, allowing to evaluate the operational efficiency. For that, data regarding organoleptic, physicochemical and microbiological parameters, issued by the Águas do Norte Laboratory (LabAdNorte) between 2014 and June 2019, were organized and analyzed.

In the studied time period, raw water from Cávado river presented lower quality regarding the following parameters: pH, smell, ammonia nitrogen, total and fecal coliforms. However, the treatment process proved to be effective, producing treated water of excellent quality. Following the installation of the new generators, residual ozone has been detected at the outlet of the pre-oxidation towers. Nevertheless, given the limited number of analytical results available, it is still early to compare and draw conclusions regarding this modification of the treatment line. From an operational and economic point of view, it is more advantageous to operate with lower volumetric flow rate and higher concentration. When facing high treatment flow rates and more demanding raw water quality situations, operation with two ozone generators is more advantageous. Comparative analysis of the efficiency of the three ozone generators led to the conclusion that one of the new generators is more efficient. The old generator presents higher consumption and consequently higher total production costs, being its selection for operation the last choice.

Keywords: Human consumption, water treatment plant, ozone, pre-oxidation, water quality.

ÍNDICE GERAL

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE GERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	xvi
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento do Tema	1
1.2. Âmbito e Objetivos.....	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	3
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1. Qualidade da Água para Consumo Humano.....	4
2.2. Parâmetros de Qualidade	5
2.2.1. Parâmetros Organoléticos.....	5
2.2.2. Parâmetros Físico-Químicos.....	7
2.2.3. Parâmetros Microbiológicos	11
2.3. Enquadramento Legal.....	13
2.4. Tratamento de Água para Consumo Humano.....	14
2.4.1. Tecnologias de Tratamento	16
2.5. Ozonização.....	22
2.5.1. Propriedades Físicas e Químicas do Ozono	22

2.5.2. O processo de Ozonização	23
2.5.2.1. Sistema de Alimentação de Gás	24
2.5.2.2. Geração de Ozono	24
2.5.2.3. Tanque de contacto	25
2.5.2.4. Sistema de Destruição de Ozono Não Consumido	29
2.5.3. Local de Aplicação de Ozono no Processo de Tratamento de Água	30
2.5.4. Possíveis Usos do Ozono	31
2.5.5. Subprodutos da Desinfecção com Ozono	32
3. Caso de estudo.....	34
3.1. O Grupo AdP – Águas de Portugal e a empresa Águas do Norte, S.A.	34
3.2. ETA de Areias de Vilar – Processo de Tratamento	34
3.3. Controlo de Qualidade e Operacional na ETA de Areias de Vilar	37
3.4. Alterações a implementar na ETA de Areias de Vilar	39
4. Metodologia.....	41
4.1. Análise da Qualidade da Água Bruta	42
4.2. Caracterização Qualitativa e Análise da Eficiência do Processo de Tratamento	43
4.3. Análise da Qualidade da Água Tratada	44
4.4. Análise detalhada do Processo de Pré-Oxidação	45
5. Apresentação e Discussão dos Resultados.....	49
5.1. Qualidade da Água Bruta	49
5.2. Caracterização Qualitativa e Análise da Eficiência do Processo de Tratamento	54
5.2.1. Parâmetros Organoléticos	54
5.2.1.1. Cor.....	54
5.2.1.2. Turvação.....	55
5.2.1.3. Cheiro.....	56
5.2.2. Parâmetros Físico-Químico.....	57

5.2.2.1. Temperatura e pH.....	57
5.2.2.2. Condutividade, Dureza Total, Cálcio, Magnésio e Manganês.....	59
5.2.2.3. Alumínio.....	61
5.2.2.4. Azoto Amoniacal, Nitratos e Nitritos.....	63
5.2.2.5. Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares.....	66
5.2.2.6. Matéria Orgânica.....	66
5.2.2.6.1. Oxidabilidade.....	66
5.2.2.6.2. UV 254.....	67
5.2.3. Parâmetros Microbiológicos.....	68
5.2.3.1. Indicadores de Contaminação Fecal: Bactérias Coliformes, <i>E.coli</i> , Enterococos e <i>Clostridium perfringens</i>	68
5.2.3.2. <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i>	72
5.2.3.3. Fitoplâncton e Cianobactérias.....	73
5.2.4. Eficiência de Remoção.....	74
5.3. Qualidade da Água Tratada.....	80
5.4. Análise detalhada do Processo de Pré-oxidação.....	86
5.4.1. Ozono Residual e Bromatos.....	86
5.4.2. Parâmetros Microbiológicos e Matéria Orgânica.....	89
5.4.3. Avaliação Económica.....	91
5.4.3.1. Consumo de Reagentes – Oxigénio.....	91
5.4.3.2. Consumo de Energia Elétrica.....	92
5.4.4. Ensaio de Otimização.....	93
6. Conclusões.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXO I – Processo de tratamento realizado na ETA de Areias de Vilar	106
ANEXO II – Comparação entre os limites (alerta e críticos) definidos no PCO com os VP definidos no Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro, para diversos parâmetros	110

ANEXO III - Lista de parâmetros de qualidade da água monitorizados na linha de tratamento na ETA de Areias de Vilar.....	111
ANEXO IV – Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto (Tabela de parametrização por classes de qualidade)	114
ANEXO V – Decreto-lei nº 152/207, de 7 de dezembro (Tabela de parametrização legal)	115
Anexo VI – Concentrações médias anuais dos diversos parâmetros analisados ao longo do processo de tratamento.....	117
Anexo VII – Gráficos Complementares.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Reserva total de água doce disponível para uso humano.....	4
Figura 2: Esquema de tratamento convencional em Portugal, para águas de origem superficial (A), para águas de origem subterrânea (B) e para as lamas produzidas no tratamento de água (C).	15
Figura 3: Espectro de microrganismos atingidos pela desinfeção por cloro e pela desinfeção por UV..	20
Figura 4: Diversas configurações dos tanques com difusão de bolhas.....	27
Figura 5: Sistema de injeção de ozono.	28
Figura 6: Esquema típico de um tanque de contacto com turbina.....	29
Figura 7: Possíveis locais de aplicação de ozono num sistema de tratamento de água.....	30
Figura 8: Bacia hidrográfica do rio Cávado e fotografia aérea da ETA de Areias de Vilar.	35
Figura 9: Fluxograma do processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar.....	36
Figura 10: Novos equipamentos a instalar na ETA de Areias de Vilar.	40
Figura 11: Principais fases de estudo da presente dissertação.	41
Figura 12: Variação da cor da água no RAB (reservatório de água bruta) e na CAF (cisterna de água filtrada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta; LC = limite crítico	54
Figura 13: Variação da turvação da água no RAB (reservatório de água bruta) e no CAD (canal de água decantada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.....	56
Figura 14: Variação da temperatura da água no RAB (reservatório de água bruta), na CAF (cisterna de água filtrada) e EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.....	57
Figura 15: Variação da condutividade (a 20 °C) da água no RAB (reservatório de água bruta), no CREPAC (canal de repartição de caudais), na CAF (cisterna de água filtrada) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.	59
Figura 16: Variação da dureza da água, expressa em concentração de carbonato de cálcio, na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.....	60
Figura 17: Variação da concentração de alumínio na água na captação (Cap) (A), na CAF (cisterna de água filtrada) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada) (B), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.	62
Figura 18: Variação da concentração de azoto amoniacal (NH ₄) na água no RAB (reservatório de água bruta) desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta; LC = limite crítico.	64
Figura 19: Variação da concentração de nitratos na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.....	65

Figura 20: Variação da concentração de matéria orgânica (UV 254 nm) na água ao longo da linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB = reservatório de água bruta; TPO = torre de pré-oxidação; CAD = canal de água decantada; CAF = cisterna de água filtrada; EE1 = estação elevatória 1, água tratada; LA = limite de alerta)	68
Figura 21: Variação do teor de bactérias coliformes na água no RAB (reservatório de água bruta) (A), no TPO (torre de pré-oxidação) e na CAF (cisterna de água filtrada) (B), desde agosto de 2016 a junho de 2019. LA = limite de alerta.	70
Figura 22: Variação da concentração de Enterococos na água no RAB (reservatório de água bruta) e no TPO (torre de pré-oxidação), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.	70
Figura 23: Variação da concentração de <i>E. coli</i> na água no RAB (reservatório de água bruta) (A), no TPO (torre de pré-oxidação) e na CAF (cisterna de água filtrada) (B), desde agosto de 2016 a junho de 2019. LA = limite de alerta.	71
Figura 24: Variação da concentração de <i>Clostridium perfringens</i> na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.....	71
Figura 25: Variação do número de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta. ..	72
Figura 26: Variação do número de cistos de <i>Giardia</i> na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.	72
Figura 27: Variação da quantidade de fitoplâncton total na água na linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB = reservatório de água bruta; EE1 = estação elevatória 1, água tratada).	73
Figura 28: Variação da concentração de ozono residual (OR) à saída das TPO, desde janeiro de 2014 a setembro de 2019. Dados obtidos pelas análises realizadas no LabAdNorte (A) e no laboratório de exploração (B). (TPO 1= torre de pré-oxidação 1; TPO 2= torre de pré-oxidação 1; LA= limite de alerta).	88
Figura 29: Evolução do consumo específico (ConEsp) mensal de oxigênio na etapa de pré-oxidação com ozono, desde janeiro de 2014 a setembro de 2019. (GO= gerador de ozono).	92
Figura 30: Relação entre o caudal de ozono e o caudal de oxigênio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.....	94
Figura 31: Relação entre a concentração de ozono e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.	94

Figura 32: Relação entre a potência e a produção de ozono, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.	95
Figura 33: Folha de EXCEL dinâmica para ser utilizada como ferramenta de apoio à tomada de decisão, pela equipa de operação da ETA.....	96
Figura A1: Variação da concentração de cálcio na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.	119
Figura A2: Variação da concentração de magnésio na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.....	119
Figura A3: Variação da concentração de manganês na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.	120
Figura A4: Variação da quantidade de cianobactérias na água na linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB= reservatório de água bruta; EE1= estação elevatória 1, água tratada).	120
Figura A5: Relação entre o caudal de ozono e o caudal de oxigénio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.	121
Figura A6: Relação entre a concentração de ozono e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.....	121
Figura A7: Relação entre a potência e a produção de ozono, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.....	122
Figura A8: Relação entre o caudal de ozono e o caudal de oxigénio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.....	122
Figura A9: Relação entre a concentração de ozono e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.	123
Figura A10: Relação entre a potência e a produção de ozono, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.	123

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características organoléticas, nomeadamente sabor associado a alguns sais dissolvidos.....	6
Tabela 2: Classificação da dureza de uma água	9
Tabela 3: Critérios de seleção de tanques de contacto	26
Tabela 4: Critérios de seleção do local de aplicação de ozono, para pequenos sistemas	31
Tabela 5: Parâmetros analisados na seção II do presente estudo, e respetivo local (estrutura operacional) de colheita da amostra a analisar	43
Tabela 6: Valores médios anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água bruta da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide (Areias de Vilar, Barcelos). A classificação da água de acordo com as classes de qualidade estabelecidas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto é apresentada entre parêntesis.	49
Tabela 7: ER (%) parcial e global, de diversos parâmetros no processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar. Análise realizada de forma anual e por estação do ano. É apresentado o valor médio \pm desvio padrão	77
Tabela 8: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros microbiológicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Valores a laranja indicam que ocorreram situações de incumprimento nesse ano).....	80
Tabela 9: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros químicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro	80
Tabela 10: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros indicadores, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Valores a laranja indicam que ocorreram situações de incumprimento nesse ano).....	83
Tabela 11: Limite de Alerta definido para o parâmetro concentração de ozono residual à saída das TPO	87
Tabela 12: ER (%) dos parâmetros microbiológicos no processo de pré-oxidação com ozono desde 2014 até setembro de 2019.....	90
Tabela 13: ER (%) de matéria orgânica no processo de pré-oxidação com ozono desde 2014 até setembro de 2019.....	91
Tabela 14: Consumo específico de energia elétrica, desde janeiro de 2018 a setembro de 2019, na etapa de pré-oxidação	93

Tabela 15: Custos totais de produção de ozono em três dias, através de diferentes modos de operação	98
Tabela A1: Limites de Alerta e Limites Críticos definidos no PCO para diversos parâmetros, e VP definido no DL nº152/2017, de 7 de dezembro	110
Tabela A2: Parâmetros monitorizados ao longo do processo de tratamento da linha líquida na ETA de Areias de Vilar pela equipa de exploração e pelo LabAdNorte	111
Tabela A3: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de classificação da qualidade das águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano.....	114
Tabela A4: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Microbiológicos).....	115
Tabela A5: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Químicos)	115
Tabela A6: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Indicadores).....	116
Tabela A7: Concentrações médias anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água ao longo da linha de tratamento	117

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CAD – Canal de Água Decantada

CAF – Cisterna de Água Filtrada

Cap - Captação

CMR – Câmara de Mistura Rápida

CREPAC – Canal de Repartição de Caudais

DL – Decreto-Lei

EE1 – Estação Elevatória 1

ER – Eficiência de Remoção

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos

ETA – Estação de Tratamento de Água

GO – Gerador de Ozono

LA – Limite de Alerta

LC – Limite Crítico

LT – Linha de Tratamento

PCO – Plano de Controlo Operacional

PCQA – Plano de Controlo de Qualidade da Água

PSA – Plano de Segurança da Água

RAB – Reservatório de Água Bruta

TPO – Tanque de Pré-Oxidação

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

VP – Valor Paramétrico

1. Introdução

1.1. Enquadramento do Tema

A água é o suporte de toda a atividade biológica e constitui um elemento fundamental ao nível dos equilíbrios naturais e geodinâmicos do planeta, que jamais deveriam ser quebrados pela intervenção do Homem (Branco, 2007).

Um dos recursos fundamentais utilizados para o desenvolvimento económico, social e cultural é a água. Com o aumento da população e os desenvolvimentos resultantes da revolução industrial, a sua procura aumentou e a escassez é agora um resultado inegável (Le & Nunes, 2016). Assim, a satisfação das necessidades de água constitui na atualidade um sério desafio.

Além do problema de escassez e da desigualdade no que concerne à repartição da água no planeta, estima-se que cerca de 80 % das doenças infecciosas são transmitidas através de água não tratada e, cerca de 3 milhões de crianças com idade inferior a 5 anos morrem anualmente por motivos de doenças contraídas pelo consumo de água imprópria.

A qualidade das águas naturais tem vindo a deteriorar-se sendo um veículo transmissor de doenças, gerando um problema de Saúde Pública. Sendo a água indispensável à vida, é necessário garantir a qualidade da mesma com tratamento prévio adequado. O tratamento da água decorre numa Estação de Tratamento de Águas (ETA) e processa-se em várias etapas, as quais visam a melhoria da qualidade da água para abastecimento em várias indoles (higiénicas, estéticas e económicas) (Alves, 2005).

Segundo a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR), em Portugal tem-se verificado uma evolução muito positiva, quer em qualidade da água distribuída, quer no número de análises obrigatórias para o seu controlo. O indicador “água segura”, que resulta do produto da percentagem de cumprimento da frequência de amostragem pela percentagem de cumprimento dos valores paramétricos fixados na legislação, evoluiu de forma muito significativa, passando de 50 % em 1993 para 99 % em 2018.

Para além do objetivo primordial das Estações de Tratamento de Águas (ETA), que é garantir o abastecimento de água de elevada qualidade, estas estão cada vez mais alinhadas nos princípios

1. Introdução

do desenvolvimento sustentável, procurando soluções tecnológicas que assegurem a sustentabilidade económica e ambiental.

A tomada de consciência da existência de uma “crise global” da água, em matéria da sua gestão, levou à inadiável necessidade de se alterarem os paradigmas vigentes no que respeita ao modo como o Homem gere este insubstituível recurso (Branco, 2007).

1.2. Âmbito e Objetivos

A presente dissertação, realizada no âmbito do Mestrado em Gestão Ambiental, foi desenvolvida na ETA de Areias de Vilar, que integra o Sistema Multimunicipal de Abastecimento de Água e de Saneamento do Norte de Portugal, concessionado à Águas do Norte, S.A..

Com o objetivo de manter, ou melhorar, a eficiência operacional da ETA de Areias de Vilar, a Águas do Norte pretende realizar alterações na linha de tratamento através da instalação de:

- Dois novos geradores de ozono no processo de pré-oxidação da água;
- Um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta (UV) após etapa de filtração da água;
- Um filtro prensa no processo de desidratação de lamas.

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a eficiência de processo e o retorno económico associado à instalação dos novos geradores de ozono. Neste contexto definiram-se os seguintes objetivos específicos para o presente estudo:

- Compilar e analisar os dados de qualidade da água bruta captada no rio Cávado, no período compreendido entre 2014 e junho de 2019;
- Caracterizar a qualidade da água ao longo da linha de tratamento, através da organização e análise de dados emitidos pelo Laboratório da Águas do Norte (LabAdNorte) durante o mesmo período temporal;
- Avaliar a eficiência do processo de tratamento da linha líquida;
- Analisar de forma detalhada o processo de pré-oxidação, antes e após instalação dos novos geradores de ozono (últimos dois meses do estágio).

1.3. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação apresenta uma estrutura organizada em 6 capítulos.

No presente Capítulo 1, intitulado “Introdução”, é efetuado um enquadramento ao trabalho, apresentando-se os motivos para a sua realização bem como os objetivos propostos.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, referindo inicialmente conceitos de qualidade da água, nomeadamente alguns parâmetros analíticos indicadores de qualidade de uma água, assim como a legislação em vigor para a qualidade da água nos meios hídricos superficiais e para consumo humano. Em seguida apresenta-se o tratamento convencional adotado pelas ETA em Portugal e expõe-se de forma sucinta algumas das tecnologias utilizadas no processo de tratamento da água. Por fim, são apresentados os fundamentos teóricos e conceitos que possam ter interferência no processo de tratamento designado por ozonização.

No Capítulo 3 (Caso de Estudo) é realizada uma caracterização do caso de estudo, descrevendo o processo de tratamento efetuado na ETA de Areias de Vilar, assim como o todo o controlo operacional e de qualidade realizado na mesma. São também apresentadas as alterações a realizar à linha de tratamento.

No Capítulo 4 (Metodologia) é descrita a metodologia utilizada no presente trabalho, na análise da qualidade da água ao longo do processo de tratamento, desde a captação de água bruta até à água tratada, e no processo de pré-oxidação com ozono.

É no Capítulo 5 (Apresentação e Discussão dos Resultados) que os resultados são apresentados e discutidos, e o Capítulo 6 (Conclusões) dedica-se a apresentar as principais conclusões do presente estudo, sendo também sugeridas propostas de trabalho futuro relativamente aos assuntos tratados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Qualidade da Água para Consumo Humano

A água cobre cerca de 2/3 da superfície do planeta, contudo a maior parte não se encontra disponível para utilização humana (Alves, 2005). Da reserva global de água, apenas 2,5 % corresponde a água doce sendo que o restante é água salina. Dentro dos 2,5 %, a maior parte encontra-se congelada nas regiões polares e 30 % em aquíferos remotos de difícil acesso. Como resultado, apenas 0,007 % da reserva global de água é diretamente acessível para uso humano (Figura 1). Além da baixa quantidade de água disponível para uso, esta encontra-se distribuída de forma desigual, causando escassez grave de água em certas regiões (Le & Nunes, 2016).

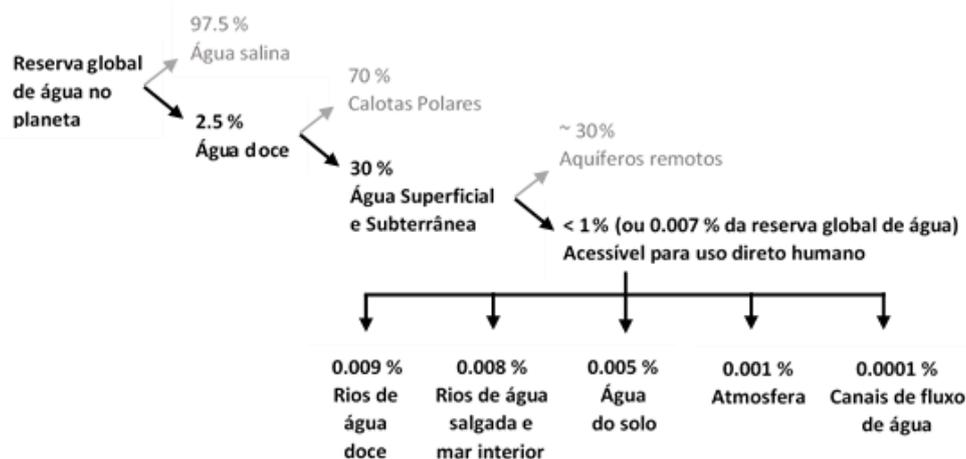


Figura 1: Reserva total de água doce disponível para uso humano.

(Imagem adaptada de Le e Nunes, 2016)

A oferta de água para consumo humano é, em regra, efetuada a partir de água doce de origens superficiais ou subterrâneas. A escolha entre estas duas possibilidades é condicionada sobretudo pela dimensão da população servida, mas também pela presença de aquíferos e das duas funções estratégicas em zonas sujeitas a secas (Brito et al., 2010).

O problema da água, do seu uso e da gestão dos recursos hídricos disponíveis, não é meramente quantitativo, é também um problema qualitativo (Mendes & Oliveira, 2004). De forma a satisfazer a sua procura de água, o Homem recorre às reservas naturais que apresentam melhor qualidade

(Alves, 2005). A água encontra-se na natureza, em todas as circunstâncias, associada a substâncias existentes em solução e/ou suspensão, que afetam as suas capacidades potenciais de aplicação e que condicionam os seus usos possíveis. Por outro lado, a presença de substâncias poluentes pode gerar problemas de outra ordem, nomeadamente ao nível da Saúde Pública, ou tomando também em conta os seus diferentes usos económicos e/ou a criação de disfunções ambientais (Mendes & Oliveira, 2004).

O conceito de qualidade da água é relativo, uma vez que é função do objetivo do seu utilizador, ou do fim a que se destina. Nenhuma água é boa para todos os fins. Para o consumidor direto, a qualidade da água é avaliada, numa primeira impressão, pelas suas qualidades organoléticas. Deverá ser incolor, inodora, não ser turva e não ter qualquer sabor desagradável. Contudo, uma água que apresente estas características pode não ser adequada para consumo. De forma a poder ser consumida sem restrições deverá respeitar muitas outras exigências, as quais não são possíveis avaliar sensorialmente. É necessário recorrer a técnicas analíticas que permitem quantificar parâmetros físico-químicos e microbiológicos (Mendes & Oliveira, 2004), devendo estes cumprir com os valores definidos pela legislação vigente.

2.2. Parâmetros de Qualidade

2.2.1. Parâmetros Organoléticos

Cor

A cor de uma água deve-se à presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, as quais resultam maioritariamente de matéria orgânica resultante de material vegetal em decomposição e de certos compostos inorgânicos. Quando pura e em grandes quantidades, a água apresenta coloração azulada, quando rica em ferro é arroxeadada, quando rica em manganês é negra, e quando rica em ácidos húmicos é amarelada (Alves, 2005).

É usual distinguir cor aparente e cor real. A cor aparente é a coloração da água tal como ela se apresenta, isto é, com todas as matérias em suspensão e em solução. A cor real é aquela que a água apresenta uma vez removidas as matérias em suspensão (Mendes & Oliveira, 2004), resultando principalmente da presença de material em estado coloidal, orgânico e inorgânico, e

podendo variar consoante a composição química desse material (Prado, 2010). A natureza das partículas que dão cor real ou aparente à água bruta determina o processo de tratamento a adotar. A cor real, devida a partículas coloidais normalmente negativas, pode remover-se por processos de coagulação/floculação; a cor aparente é suscetível de remoção por processos de filtração e sedimentação.

Cheiro e Sabor

A existência de cheiro e de sabor numa água pode ser um sinal de poluição. O cheiro e sabor de origem biológica são produzidos por determinados tipos de algas, cianobactérias, protozoários e bactérias. Podem também dever-se a dureza, sólidos totais dissolvidos, amónia, cloretos, cobre, sulfureto de hidrogénio e subprodutos de desinfeção (Prado, 2010).

Qualquer destas características são subjetivas e, conseqüentemente, difíceis de medir, uma vez que a perceção quer do cheiro quer do sabor não é igual para todos os humanos (Sousa, 2001). Apesar de não ser possível quantificar o sabor, na Tabela 1 é apresentada uma forma de qualificar a água consoante os sais nela dissolvidos.

De forma geral, para quantificar o cheiro de uma água fazem-se diluições sucessivas até que não apresente mais cheiro. Esta determinação pode ser conseguida pelo recurso do método de escolha não forçada (mais utilizado) ou do método de escolha forçada. O método de escolha não forçada pode ainda recorrer ao *Short Method*, usado para amostras de rotina que não apresentem cheiro ou que apresentem cheiro até um nível pré-determinado (por exemplo o limite legal), ou ao *Full Method*, usado para determinar o valor exato do fator de diluição da amostra (RELACRE).

Tabela 1: Características organoléticas, nomeadamente sabor associado a alguns sais dissolvidos

(Adaptado de Alves, 2005)

Sais Dissolvidos	Sabor
Cloreto de Sódio (NaCl)	Salgado
Sulfato de Sódio (Na ₂ SO ₄)	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de Sódio (NaHCO ₃)	Ligeiramente salgado a doce
Carbonato de Sódio (Na ₂ CO ₃)	Amargo e salgado
Cloreto de Cálcio (CaCl ₂)	Fortemente amargo
Sulfato de Cálcio (CaSO ₄)	Ligeiramente amargo
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de Magnésio (MgCl ₂)	Amargo e doce
Gás Carbónico (CO ₂)	Adstringente, picante

Turvação

A turvação de uma água é causada pela presença de matérias sólidas em suspensão (silte, argila, colóides, matéria orgânica, etc.) (Alves, 2005), as quais interferem com a passagem da luz através da água. No caso de lagos e albufeiras ou noutras massas de água paradas, a maior parte da turvação é devida a partículas coloidais. Pelo contrário, em rios em condições de cheia, a maior parte da turvação é devida a partículas de dimensão considerável (Sousa, 2001). Vários microrganismos (bactérias, vírus e protozoários) encontram-se geralmente, aderidos a estas partículas, logo a remoção da turvação pode reduzir significativamente a contaminação microbiológica da água (APDA, 2012).

2.2.2. Parâmetros Físico-Químicos

Temperatura

A velocidade das reações químicas, assim como a solubilidade dos gases e a taxa de crescimento dos microrganismos, são altamente influenciadas pela temperatura, o que confere a este parâmetro um grau de grande importância (Sousa, 2001) ao longo de todo o processo de tratamento. O aumento de temperatura na água bruta é geralmente indicador do aumento da quantidade de matéria orgânica e crescimento de algas (Melo, 2018). Relativamente à água distribuída à população, a temperatura não representa um risco para a saúde humana, mas uma água mais quente apresenta uma baixa aceitação, já que a dissolução de algumas substâncias pode conferir sabor à água (Mendes & Santos, 2004).

pH

A concentração do ião hidrogénio $[H^+]$ é um parâmetro de qualidade muito importante numa água natural porque o seu valor determina todos os equilíbrios que nela se estabelecem. A forma usual de expressão da concentração do ião hidrogénio é o pH (Sousa, 2001). Sabe-se que o pH não afeta diretamente a saúde, dentro de certos limites, mas a sua monitorização é de extrema importância para que os processos de tratamento ocorram de forma eficiente e de forma a conservar as redes de distribuição (Mendes & Oliveira, 2004).

Condutividade

Este parâmetro traduz a capacidade da água em conduzir a corrente elétrica, resultante da concentração de íões dissolvidos na água. Os principais íões responsáveis pela condutividade de uma água são o cálcio, magnésio, ferro, potássio, sódio, carbonatos, sulfatos e cloretos (Melo, 2018). Quanto maior for a quantidade de sólidos dissolvidos na água, maior será a condutividade da mesma, e valores elevados podem indicar características corrosivas da água (Alves, 2005). É um parâmetro de qualidade bastante importante, uma vez que permite alertar para a presença de descargas industriais não tratadas, produtos provenientes de minas, águas residuais, entre outros (Melo, 2018).

Desde que os limites máximos não sejam atingidos, por si só não representa um risco para a saúde do consumidor. Porém, alguns componentes responsáveis pela condutividade, em função da sua natureza e características específicas, podem por em causa a saúde do consumidor (Mendes & Oliveira, 2004).

Alcalinidade

A alcalinidade de uma água é a medida total das substâncias capazes de neutralizar ácidos, atuando como tampão (Alves, 2005). A alcalinidade deve-se sobretudo à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidroxilos (Mendes & Oliveira, 2004). Relativamente às águas destinadas a abastecimento público, a alcalinidade é um parâmetro essencial para a eficácia dos tratamentos de coagulação, amaciamento e controlo de corrosão das condutas de distribuição. A nível da Saúde Pública não é considerada prejudicial (Alves, 2005).

Dureza

A dureza total de uma água reflete a presença de sais de metais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio e estrôncio) e de sais de metais pesados (ferro, alumínio e manganésio) (Mendes & Oliveira, 2004). Uma água pode ser classificada segundo o seu grau de dureza, como macia, média, dura e muito dura (Tabela 2) (EPAL, 2015).

Tabela 2: Classificação da dureza de uma água

(Adaptado de EPAL)

Grau de Dureza da Água	Carbonato de Cálcio (mg/L)
Macia	0 – 60
Média	60 – 150
Dura	150 – 300
Muito Dura	>300

A dureza de uma água pode ser expressa em dureza temporária, permanente e total. A dureza temporária é devida aos iões de cálcio e de magnésio, que sob aquecimento se combinam com iões bicarbonato e carbonatos, podendo ser eliminada por fervura. A dureza permanente é devida aos iões de cálcio e magnésio, que se combinam com sulfatos, cloretos, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis, que não são eliminados por fervura. A dureza total consiste na soma da dureza temporária e da dureza permanente (Alves, 2005).

Um dos inconvenientes de uma água dura é não fazer espuma com a adição de detergentes, contudo, para consumo humano uma água dura constitui uma fonte significativa de cálcio e magnésio, no que refere à cobertura das necessidades nutricionais do homem (Mendes & Oliveira, 2004).

Sólidos Suspensos Totais

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) correspondem ao teor de partículas em suspensão presentes na água bruta (Melo, 2018). Estas partículas compreendem as argilas, limo, areias, lamas, partículas coloidais orgânicas, entre outros, resultantes da erosão natural, de detritos de origem orgânica e de plâncton (Mendes & Oliveira, 2004). Determinados componentes tóxicos, como pesticidas e metais pesados podem vir agarrados a estes sedimentos (Melo 2018). Segundo Mendes & Oliveira (2004) existe uma relação direta entre o teor de sólidos suspensos totais com a turvação e com o oxigénio dissolvido, ou seja, quanto maior o teor em sólidos suspensas numa água, maior será a sua turvação e menor será o oxigénio dissolvido. A vida aquática irá ser afetada, e ocorrerá um desequilíbrio do ecossistema.

2. Revisão Bibliográfica

A remoção dos STT geralmente é conseguida através dos processos de coagulação/floculação, decantação e filtração, sendo também eliminada a turvação e a cor da água bruta. Os SST, por si só, não possuem significado sanitário, mas em função da natureza dos seus constituintes correspondem a riscos potenciais. Elevadas concentrações deste parâmetro irão traduzir-se em dificuldade nos processos de desinfecção (Mendes & Oliveira, 2004).

Oxigénio Dissolvido

Na água, o oxigénio está presente na forma de gás dissolvido e a sua concentração varia com a temperatura, com a pressão atmosférica (Mendes & Oliveira, 2004) e com a salinidade. Com o aumento da temperatura e da salinidade, a solubilidade do oxigénio diminui (Sousa, 2001).

Segundo Mendes & Oliveira (2004) o oxigénio dissolvido é um parâmetro essencial no controlo da qualidade da água, do seu nível de poluição (em especial orgânica) e também da evolução dos processos de tratamento das águas residuais. As águas superficiais contêm teores relativamente elevados de oxigénio dissolvido.

Matéria Orgânica

A principal consequência que resulta da descarga de substâncias orgânicas num ecossistema aquático é o consumo de oxigénio, como resultado da atividade microbiana, desencadeada pela sua presença. A sua presença pode levar à multiplicação de microrganismos heterotróficos e, por combinação dessas substâncias carbonadas com compostos halogenados, formam-se subprodutos indesejáveis.

Ao longo dos anos, têm sido desenvolvidos vários testes para a determinação da quantidade de matéria orgânica numa água natural ou residual. Segundo Mendes & Oliveira (2004) o conjunto das substâncias orgânicas presentes numa determinada massa de água pode ser quantificado, indiretamente, em termos de equivalente de oxigénio consumido. Para tal é necessário recorrer à determinação da carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), da carência química de oxigénio (CQO) ou à oxidabilidade (ou valor ao permanganato, VP).

A oxidabilidade tem sido bastante usada para avaliar a quantidade de matéria orgânica nas águas potáveis. A oxidabilidade é expressa em oxigênio, porque a quantidade de permanganato reduzido pela matéria orgânica é igual ao oxigênio libertado (Alves, 2005).

Alternativamente, pode-se recorrer à medição do carbono orgânico total (COT), que nos fornece indicação da carga orgânica presente expressa em carbono. O COT por si só não tem significado específico em termos sanitários, uma vez que representa um conjunto de substâncias que não são individualmente identificadas. O seu interesse reside no facto de, em associação com outros parâmetros, permitir acompanhar a evolução de um processo de poluição orgânica e controlar assim, de forma efetiva e relativamente rigorosa, a qualidade da água (Mendes & Oliveira, 2004).

Os testes para determinação de matéria orgânico mencionados, requerem dispositivos caros, reagentes químicos nocivos e tempo. Para fins práticos são necessários métodos menos sofisticados e mais rápidos. Um método que possui essas características é a absorção ultravioleta de água no comprimento de onda de 254 nm (UV 254). Estudos demonstram que existe uma boa correlação entre o TOC e o UV 254, assim como entre a CQO e o UV 254. Desta forma, o UV 254 pode ser aplicado com sucesso para determinar concentrações de matéria orgânica na água (Albrektienê et al., 2012).

2.2.3. Parâmetros Microbiológicos

A água, como qualquer outro componente dos sistemas naturais, contém uma diversidade de microrganismos, apresentando por vezes teores elevados. Muitos não representam, em geral, riscos para o Homem. Outros, pelo contrário, podem ser causadores de doenças (patogénicos) (Mendes & Oliveira, 2004).

Atualmente os maiores riscos microbiológicos associados à ingestão de água devem-se a contaminantes com origem fecal (Nogueira, 2007). Neste sentido, para a avaliação microbiológica da água recorre-se a indicadores da presença de matéria fecal no meio, de origem animal ou humana (Melo, 2018). Segundo Nogueira (2007) o grupo de bactérias usadas como indicador de poluição fecal pertencem ao grupo dos coliformes, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* e enterococos fecais. De salientar, que os coliformes fecais e a *Escherichia coli* são melhores

indicadores da presença de contaminação fecal comparativamente aos coliformes totais. Os coliformes totais podem ter origem no solo e plantas (Nogueira, 2007).

O grupo dos coliformes totais inclui diversas espécies de bactérias da família *Enterobacteriaceae*, podendo ser provenientes do ambiente ou do tracto gastrointestinal dos animais homeotérmicos. O género *Escherichia* é o predominante, incluído também algumas espécies de *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter*. Estas bactérias encontram-se presentes no solo e águas naturais. Nos sistemas de tratamento podem-se multiplicar nos filtros, reservatórios e canalizações. Uma vez que inclui também espécies não-entéricas, os coliformes totais não são considerados os melhores indicadores de contaminação fecal, contudo são um bom indicador operacional. Em particular, as bactérias da espécie *E. coli* são específicas do trato intestinal do Homem e animais de sangue quente. Como não se multiplicam facilmente em ambiente aquático são utilizadas como indicadores específicos de poluição fecal (Matos, 2009).

Os enterococos são relativamente específicos como indicadores de contaminação fecal. No entanto, alguns enterococos intestinais isolados na água, podem ocasionalmente ter origem no solo, na ausência de poluição fecal direta. O número de enterococos intestinais em fezes humanas apresenta uma ordem de grandeza menor do que a de *E. coli* e tendem a sobreviver mais tempo em ambientes aquáticos. São relativamente tolerantes ao cloreto de sódio e a pH alcalino, e são mais resistentes à desinfeção por cloro em comparação com *E. coli* (Matos, 2009).

A bactéria *Clostridium perfringens* é comum no trato intestinal do Homem e outros animais de sangue quente, encontrando-se amplamente distribuída na natureza, principalmente em águas contaminadas com fezes e nos solos. Detém elevado potencial patogénico devido às toxinas e enzimas que produz. É resistente à depuração natural da água, formando esporos extremamente resistentes a condições ambientais aquáticas adversas, incluindo temperatura, pH extremos, radiação ultravioleta e a processos de desinfeção. Desta forma, pode sobreviver durante longos períodos de tempo, (APDA, 2012) pelo que a sua presença na água indica poluição hídrica de origem fecal remota ou intermitente (Barreiros, 2009).

Organismos como parasitas e protozoários podem estar presentes na água e causar doença (Nogueira, 2007). Os microrganismos do género *Cryptosporidium* e *Giardia* são protozoários parasitas que infetam uma ampla variedade de hospedeiros vertebrados, incluindo o Homem, sendo o meio hídrico um excelente veículo de transmissão. A cryptosporidiose e giardíase caracterizam-se por gerar quadros de diarreia moderada a severa, estando associadas a elevadas

taxas de morbidade, principalmente em indivíduos imunocomprometidos. A transmissão de ambos os parasitas dá-se por via fecal-oral, por meio do contato direto com as fezes de pessoas infetadas ou por ingestão de água ou alimentos contaminados (Prado, 2010). Sabe-se, porém que os processos convencionais de tratamento da água não são totalmente eficientes para estes parasitas, que formam cistos resistentes aos processos de cloração e ao aumento de temperatura, permanecendo viáveis por muito tempo no ambiente (Fregonisi et al., 2012).

2.3. Enquadramento Legal

O Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade, com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. As águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano, consoante a sua qualidade, são classificadas nas seguintes categorias (Simas et al., 2005):

- **A1**, águas de boa qualidade, necessitam apenas por questões de segurança de um tratamento físico, filtração (lenta ou rápida) e posterior desinfecção;
- **A2**, águas significativamente poluídas, onde é necessário um tratamento físico-químico, podendo incluir pré-oxidação, coagulação/floculação, decantação, filtração rápida e desinfecção;
- **A3**, águas bastante poluídas, onde para além do tratamento físico-químico descrito no ponto anterior, necessitam obrigatoriamente de um tratamento de afinação, como por exemplo o carvão ativado.

Quanto à água para consumo humano, define-se por água potável a que pode ser bebida, sem que daí resulte perigo para a saúde de quem a consome. É através da análise de um conjunto de parâmetros que esta potabilidade é avaliada. Uma amostra, *a priori*, satisfaz os requisitos de qualidade, quando os resultados dessa análise são iguais ou inferiores aos fixados pelas normas em vigor (Mendes & Oliveira, 2004).

A água destinada ao consumo humano deverá ser objeto de vigilância permanente por parte do distribuidor. Essa obrigação implica a necessidade de vigiar o bom funcionamento dos sistemas de produção e de distribuição, de modo a garantir ao consumidor o fornecimento de uma água

conforme as exigências de qualidade legalmente estabelecidas (Mendes & Oliveira, 2004). A nível nacional, é o Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro, que procede à segunda alteração ao Decreto-Lei nº 306/2007, de 27 de agosto (alterado pelo Decreto-Lei nº 92/2010, de 26 de julho), que estabelece o regime da qualidade da água para consumo humano, tendo como objetivo *“proteger a saúde humana dos efeitos nocivos resultantes da eventual contaminação dessa água e assegurar a disponibilização tendencialmente universal de água salubre, limpa e equilibrada na sua composição”*.

O Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro, define valores paramétricos para parâmetros físico-químicos, parâmetros microbiológicos e parâmetros indicadores para efeitos de verificação de conformidade da qualidade da água destinada ao consumo humano, constantes no Anexo I: Parte I), II) e III) do referido DL.

O DL preconiza o Programa de Controlo de Qualidade da Água (PCQA), que constitui um programa de controlo analítico cujo objetivo é verificar o cumprimento dos valores paramétricos previstos no referido DL. O PCQA encontra-se dividido em três tipos de controlo: controlo de rotina 1, controlo de rotina 2 e controlo de inspeção. Os controlos de rotina concedem informação regular sobre a qualidade organolética e microbiológica da água, bem como a eficácia dos tratamentos aplicados. Pelas suas especificidades, o número de colheitas é feito com maior frequência. O controlo de inspeção de menor frequência, mas incluindo um maior grupo de parâmetros, permite verificar o cumprimento dos valores paramétricos, assegurando um controlo mais abrangente da qualidade da água. Para cada grupo de controlo, a legislação define quantas amostras por ano têm obrigatoriamente de ser colhidas, considerando sempre o volume de água distribuída e o número de habitantes. A verificação da qualidade da água é realizada em amostras colhidas na torneira do consumidor (sistema de abastecimento em baixa) ou no ponto de entrega (sistema de abastecimento em alta) tendo o programa de ser submetido a aprovação da autoridade competente, a ERSAR.

2.4. Tratamento de Água para Consumo Humano

Os processos de tratamento utilizados na obtenção de água com qualidade para consumo humano variam consoante a origem e a qualidade da água captada. As águas superficiais necessitam geralmente de mais tratamento que as águas subterrâneas. A qualidade das águas superficiais,

provenientes sobretudo de rios e albufeiras, variam com a época do ano e o grau de poluição da bacia hidrográfica de proveniência (Brito et al., 2010). Na seleção dos processos de tratamento será também importante considerar outros aspetos, tais como a necessidade de reduzir os impactos ambientais do próprio processo (produção de resíduos e consumo de energia) e as características dos sistemas de distribuição (Brito et al., 2010).

Convencionalmente, o tratamento é realizado através da combinação de diversas operações/processos unitários (coagulação/floculação, decantação, filtração e desinfecção) (Brito et al., 2010). A caracterização da situação nacional das ETA, elaborada por Rosa et al. (2009), permitiu identificar as sequências de tratamento existentes em função da origem da água. Foram identificados os esquemas tipo do tratamento das fases líquidas das ETA que tratam água de origem superficial (Figura 2A) e água de origem subterrânea (Figura 2B).

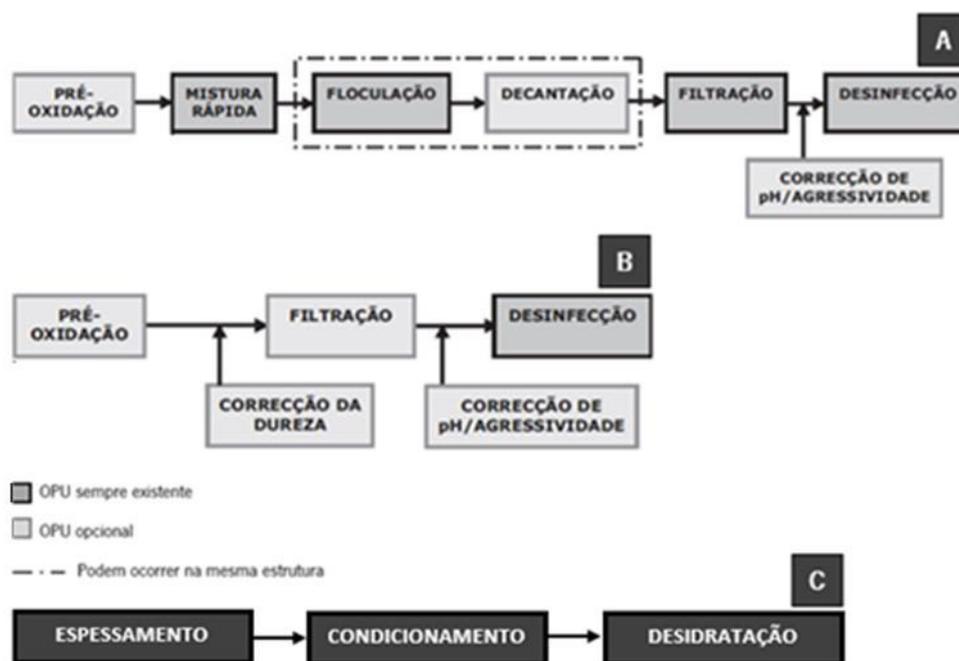


Figura 2: Esquema de tratamento convencional em Portugal, para águas de origem superficial (A), para águas de origem subterrânea (B) e para as lamas produzidas no tratamento de água (C).

(Imagem adaptada de Rosa et al., 2009)

Cada esquema tipo apresenta algumas variantes, uma vez que as ETA podem não ter instaladas todas as Operações e Processos Unitários (UOP) indicadas. Em termos de tratamento da fase

2. Revisão Bibliográfica

sólida, a informação disponível é mais escassa, ainda assim, identificaram-se as UOP expectáveis, predominando o espessamento e a desidratação das lamas (Figura 2C) (Rosa et al., 2009).

2.4.1. Tecnologias de Tratamento

Pré-Oxidação

A pré-oxidação consiste em adicionar à água uma substância oxidante, como por exemplo cloro, dióxido de cloro, ozono e permanganato de potássio (Alves, 2005). Estas substâncias permitem a oxidação da matéria orgânica, micropoluentes e metais, essencialmente o ferro e o manganês, cujo mecanismo de remoção consiste em transformar formas solúveis (Fe^{2+} e Mn^{2+}) em formas insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}) (Melo, 2018).

Além de melhorar a remoção de certas substâncias químicas durante o processo de tratamento, a pré-oxidação é também utilizada para reduzir o crescimento biológico na estação de tratamento de água e para controlo de sabor e odor. Esta fase é de grande importância, pois favorece as fases seguintes do processo de tratamento da água, nomeadamente a floculação e a filtração, evitando a proliferação de algas e microrganismos nas instalações (Melo, 2018).

Coagulação/Floculação

De forma a eliminar os sólidos que se encontram em suspensão na água é necessário recorrer ao processo de coagulação/floculação. Através da adição de um coagulante é promovida a agregação de colóides em suspensão, os quais adquirem densidade suficiente para precipitar em tempo útil num decantador, ou serem retidos no processo de filtração. A coagulação requer uma mistura rápida. Em função do objetivo a atingir com a sua utilização e participação no processo de clarificação da água, os reagentes empregues podem classificar-se como coagulantes (sais metálicos e polieletrólitos), alcalinizantes ou adjuvantes (Alves, 2005).

O processo de floculação requer, ao contrário da coagulação, uma mistura lenta e promove o contacto das partículas destabilizadas pela coagulação, favorecendo a sua agregação em flocos facilmente sedimentáveis (flocos de maior dimensão) (Brito et al., 2010). Os floculantes podem

classificar-se consoante a sua natureza (mineral ou orgânica), origem (sintético ou natural) ou carga elétrica (aniónico, catiónico ou não iónico) (Alves, 2005).

Com a eliminação dos sólidos em suspensão diminui-se de forma drástica a turvação da água, assim como a cor aparente, a matéria orgânica natural e parte dos microrganismos (Alves, 2005).

Sedimentação/Decantação

A decantação consiste na obtenção de um líquido clarificado, enquanto a sedimentação se refere à concentração de lamas (Brito et al., 2010). Trata-se de um processo de remoção de partículas em suspensão, cuja densidade é superior à da água. Sendo que é através da ação da gravidade que as partículas sólidas são separadas da água. O processo de decantação/sedimentação dá-se em decantadores, podendo estes ter forma retangular ou circular e escoamento horizontal ou vertical. Em qualquer um dos casos é possível identificar quatro zonas:

- Zona de entrada, onde se denota uma certa agitação e as partículas encontram-se dispersas, sendo o escoamento feito de forma uniforme para a zona de sedimentação;
- Zona de sedimentação, não possui agitação, sendo que as partículas descem lentamente;
- Zona de lamas, normalmente é o fundo do tanque, onde as lamas se acumulam;
- Zona de saída, onde os flocos que não se depositaram na zona de lamas seguem juntamente com a água a tratar (Alves, 2005).

Filtração

A filtração é uma operação que tem como objetivo a remoção de partículas em suspensão por passagem da água que as contém através de um meio poroso. Regra geral, a filtração é usada como método de afinação da qualidade da água, ou seja, tem como finalidade eliminar matéria suspensa que não tenha sido removida nas fases de sedimentação, coagulação e floculação (Alves, 2005).

O material filtrante ideal é aquele que permite tratar o maior caudal de água e reter a máxima quantidade de sólidos com uma perda de carga mínima, possibilitando também uma limpeza fácil com um consumo mínimo de água. O material mais vulgarmente utilizado como meio de

enchimento é a areia. Outros materiais utilizados com sucesso, mas de aplicação restrita, incluem a antracite, o carvão ativado e plásticos diversos. Os leitos filtrantes podem ser construídos com uma única camada de material, duas camadas de materiais diferentes, ou mesmo mais do que duas camadas de materiais diferentes (Alves, 2005).

Desinfecção

A desinfecção de uma água tem como objetivo eliminar os microrganismos potencialmente nocivos para a saúde dos consumidores. Nas águas de abastecimento, mesmo nos casos em que existe garantia de qualidade microbiológica, é necessário proceder à desinfecção da água (Alves, 2005).

A desinfecção é conseguida com recurso a agentes físicos ou químicos. Os agentes físicos englobam o calor, a luz solar, a radiação ultravioleta, as radiações ionizantes e os ultra-sons. Já os agentes químicos englobam oxidantes (nomeadamente o cloro, bromo, iodo, ozono e permanganato de potássio), iões metálicos (prata), ácidos e bases e os detergentes (Alves, 2005).

Segundo Brito, Oliveira e Peixoto (2010) e Alves (2005) um desinfetante ou processo de desinfecção deve idealmente possuir determinadas características, tais como:

- Possuir toxicidade, a baixas concentrações, apenas para os microrganismos, não sendo tóxico para seres superiores;
- Possuir coeficiente de morte celular elevado;
- Ser suficientemente persistente, para prevenir o aparecimento dos microrganismos na rede de distribuição de água;
- Ser solúvel em água ou nos tecidos celulares;
- Possuir estabilidade (permitindo a manutenção de concentrações residuais durante longos períodos de tempo) e ser uniforme em composição;
- Não ser corrosivo;
- Em simultâneo desinfetar e desodorizar;
- Ter baixo custo e existir em quantidades consideráveis;
- Ser eficaz às temperaturas normais da água de consumo;
- Não reagir com a matéria orgânica que não seja a dos microrganismos;
- Não ser agressivo a metais ou vestuário;

- Facilidade na sua manipulação;
- Permitir um controlo fácil das suas concentrações.

Por outro lado, a sua eficácia é comprometida por determinados fatores, nomeadamente pelo tempo de contacto com a água; pela concentração, intensidade e tipo de agente químico; pela temperatura da água; pelo número e tipo de organismos presentes; pela natureza do líquido de suporte do desinfetante; pelos sólidos suspensos e matéria orgânica (retardam o efeito do desinfetante); e pelo pH.

No tratamento de água o agente desinfetante mais utilizado é o cloro, devido ao preço acessível e capacidade de inativação de um elevado número de organismos patogénicos. No entanto, nos últimos anos, o cloro tem vindo a ser substituído por outros métodos, uma vez que favorece a formação de subprodutos indesejáveis, os Trihalometanos (THM) (Melo, 2018).

Com um poder desinfetante cerca de 10 a 100 vezes superior ao do cloro, o ozono não forma novos compostos estáveis, mas não garante a presença de desinfetante residual na água abastecida ao consumidor (Alves, 2005).

A desinfeção através de um sistema de radiação ultravioleta (UV) é capaz de inativar microrganismo resistentes ao cloro, como é o caso de *Cryptosporidium* e *Giardia*, além dos agentes patogénicos inativados por exemplo pelo cloro (Figura 3). Além disso, a desinfeção UV não forma subprodutos na água, nem afeta o sabor e cheiro da mesma. Contudo, também não permite a ocorrência de desinfetante residual na água.

A utilização de uma estratégia combinada alcança um espectro de microrganismos superior relativamente à utilização de um único método. Tem-se como exemplo, uma estação de tratamento de água em Vancouver (Canadá), na qual utilizam a combinação de ozono, cloro e UV para eliminar o risco de patogénicos resistentes a formas químicas de desinfeção (Trojan UV).



Figura 3: Espectro de microrganismos atingidos pela desinfecção por cloro e pela desinfecção por UV. (Imagem adaptada de Trojan UV)

Adsorção

A adsorção consiste na remoção de substâncias orgânicas em solução responsáveis por perturbações organoléticas. Ocorre transferência para um adsorvente sólido, ao qual ficam ligadas por forças químicas ou físicas. Permite remover contaminantes orgânicos persistentes, como hidrocarbonetos, organofosforados e outros disruptores endócrinos (Brito et al., 2010).

O processo de adsorção é um fenômeno essencialmente de superfície, logo para que um adsorvente tenha uma capacidade de retenção significativa deve apresentar uma grande área superficial específica, o que implica uma estrutura altamente porosa. Este tipo de processo é utilizado geralmente para remoção de substâncias húmicas (responsáveis pela cor), sabores, odores, fenóis, cresóis e diversos compostos tóxicos não biodegradáveis. O carvão ativado é o principal adsorvente e dos mais utilizados na atualidade (Alves, 2005).

Permuta Iônica

A permuta iônica compreende a eliminação de determinados íons da água, por troca reversível e estequiométrica com outros íons do mesmo sinal presentes no sólido ou num líquido imiscível, denominado resina permutadora (Brito et al., 2010).

As aplicações da permuta iônica são diversas, destacando-se a desmineralização da água, a remoção de ferro e manganês, o amaciamento da água, a remoção de compostos azotados de, descarbonatação da água e remoção e recuperação de metais e materiais radioativos de águas residuais industriais (Alves, 2005).

Amaciamento por Precipitação Química

O amaciamento por precipitação química consiste na remoção, parcial ou total, da dureza de uma água sob a forma de cristais insolúveis de carbonato de cálcio, CaCO_3 , e de hidróxido de magnésio, Mg(OH)_2 . Os processos usualmente utilizados para remoção da dureza da água são a precipitação química, a permuta iônica e os processos membranares (Brito et al., 2010).

O tipo de tratamento de amaciamento por precipitação química está dependente das concentrações de cálcio, magnésio e alcalinidade da água. As concentrações são classificadas como baixas ou elevadas, sendo consideradas como elevadas quando ultrapassam as concentrações de 90, 60 e 150 mg/l respectivamente (Alves, 2005).

Estabilização da Água

Após tratamento completo da água (coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção), o pH geralmente é inferior a 6,5, sendo necessário proceder ao seu ajuste para valores superiores a 6,5 tendo em vista a sua utilização para consumo humano (Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro). A estabilização é o processo de acerto do pH de uma água ao seu valor de equilíbrio, designado como pH de saturação. Neste ponto a água não tem tendência nem a dissolver nem a precipitar o carbonato de cálcio (Alves, 2005).

Separação por Membranas

Segundo Brito et al. (2010), os processos de separação por membranas têm ganho utilidade crescente e aplicações cada vez mais diversificadas.

2. Revisão Bibliográfica

O processo de separação por membranas baseia-se na passagem da massa de água por um meio poroso, designado por membrana, no qual o caudal de alimentação é dividido em duas correntes, a de concentrado e a de permeado. As partículas e os contaminantes retidos na superfície da membrana semipermeável são continuamente removidos no concentrado que flui tangencialmente ao longo da superfície da membrana. A solução clarificada flui através da membrana como permeado (Melo, 2018).

Dentro dos processos existentes na filtração por membranas destacam-se a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa (Melo, 2018).

2.5. Ozonização

2.5.1. Propriedades Físicas e Químicas do Ozono

O ozono é uma molécula composta por três átomos de oxigénio. É detentor de um poder oxidante muito elevado, motivo pela qual tem vindo a ser amplamente usado no tratamento de água (Gomes, 2016).

A decomposição do ozono na água tem sido alvo de estudo, na sequência do conhecimento da possibilidade de interação deste com as espécies naturalmente presentes na água. O tempo de semivida do ozono corresponde ao tempo que a concentração residual de ozono demora a decair 50 % do seu valor inicial, aquando a decomposição do mesmo. Neste processo de decomposição ocorrem duas fases distintas, uma primeira em que existe um rápido consumo de ozono na água bruta (a pH neutro) que corresponde a cerca de 20 segundos (o tempo de semivida), e uma segunda fase que corresponde a um decaimento lento de ozono, que pode chegar a 60 minutos (Gomes, 2016).

A interação entre o ozono e os compostos presentes na água pode ocorrer de duas formas. Por via direta, nas reações do ozono molecular, e por via indireta, através da formação de radicais livres oxigenados (nomeadamente os radicais hidroxilo, os quais possuem um poder oxidante superior ao do ozono).

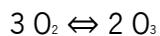
Sob condições ácidas o potencial de oxidação do ozono é 2,07 V, e sob condições básicas é 1,24 V. O potencial de oxidação dos radicais hidroxilo é 2,80 V (Gomes, 2016).

A reação do ozono em solução aquosa é muito complexa, reagindo com muitos compostos orgânicos e inorgânicos. A autodecomposição do ozono envolve diversas espécies de radicais livres, podendo ser iniciada consoante as espécies constituintes da água, como por exemplo o ião hidróxido, matéria orgânica natural, ião ferro, ou ainda através da luz ultravioleta (Gomes, 2016).

2.5.2. O processo de Ozonização

O ozono é uma molécula instável e tem de ser gerado no local de aplicação (EPA, 1999), decompondo-se rapidamente em oxigénio. Por este motivo não pode ser armazenado nem transportado, o que constitui vantagem, pois elimina possíveis acidentes relativos ao seu transporte (Gomes, 2016).

Sabe-se que a geração de ozono envolve a formação de um radical do átomo de oxigénio, que reagindo com oxigénio molecular origina ozono (Gomes, 2016). Esta reação é endotérmica e necessita de uma quantidade considerável de energia (EPA, 1999).



O ozono é um oxidante forte que reage rapidamente com a maioria dos compostos orgânicos e microrganismos presentes na água, não conferindo sabor ou odor à mesma. A sua produção é conseguida a partir de oxigénio do ar e energia elétrica, não havendo problemas de disponibilidade de matéria-prima. São estes fatores que tornam o ozono atrativo para a purificação da água. Por outro lado, a maior desvantagem associada a este processo são os custos e eficiência dos geradores de ozono e os métodos de injeção do gás (Cavalheiro, 2005).

Os sistemas de tratamento de águas com ozono são constituídos por quatro componentes básicos (EPA, 1999):

- Sistema de alimentação de gás;
- Gerador de ozono;
- Tanque de contacto;
- Sistema de destruição do gás não consumido.

2. Revisão Bibliográfica

2.5.2.1. Sistema de Alimentação de Gás

Os sistemas de alimentação de gás geralmente utilizam oxigénio de elevada pureza, ar ou uma mistura de ambos. O oxigénio de elevada pureza pode ser comprado e armazenado como oxigénio líquido (LOX) ou pode ser gerado no local através de um processo criogénico, por Vacuum Swing Adsorption (VSA), ou Pressure Swing Adsorption (PSA). Os sistemas de alimentação com oxigénio líquido são relativamente simples, sendo compostos por tanque(s) de armazenamento, evaporadores para converter o líquido a gás, filtros para remoção de impurezas, e reguladores de pressão para limitar a pressão do gás nos geradores de ozono (EPA, 1999). Os sistemas com oxigénio puro são muito mais simples, necessitando apenas de vaporizador (Alves, 2005), enquanto que os sistemas de alimentação por ar são mais complexos, pois o ar tem de estar em condições apropriadas para não danificar o gerador de ozono. O ar deve estar seco, limpo, e sem contaminantes e, com o ponto de orvalho máximo em $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (EPA, 1999). É necessário realizar extração prévia de partículas de pó e humidade (Alves, 2005). Para este sistema é necessário compressor de ar, filtros, secadores e reguladores de pressão (EPA, 1999).

2.5.2.2. Geração de Ozono

A produção de ozono ocorre num gerador de ozono, existindo vários métodos para a sua geração, sendo a descarga elétrica silenciosa (conhecida como descarga corona), o método mais comum (EPA, 1999). A descarga corona consiste na passagem de um gás, rico em oxigénio, através de dois elétrodos, separados por uma camada de dielétrico e uma fenda de descarga. Aplica-se uma diferença de potencial aos elétrodos, que provoca um fluxo de eletrões na fenda de descarga. Estes eletrões, por sua vez, fornecem a energia necessária para a dissociação das moléculas de oxigénio, levando à formação do ozono (Cavalheiro, 2005).

A maior parte da energia elétrica fornecida, cerca de 85 %, é transformada em calor, e é também devido a este fator que o sistema de refrigeração se torna tão crucial na operação do equipamento. Este arrefecimento é feito com água que circunda à volta do gerador em cilindros de aço inoxidável (Gomes, 2016).

Para além da eficiência do sistema de arrefecimento, a eficiência dos geradores de ozono é também influenciada pela presença de outras espécies gasosas que, dependendo da sua concentração no gás de alimentação, podem aumentar ou diminuir a produção de ozono.

A quantidade de ozono gerada depende da quantidade de oxigénio aplicado. A concentração mássica de ozono gerado pode variar de 1 a 4 % (em peso total) quando se utiliza ar ou de 4 a 12 % (em peso total) quando se utiliza oxigénio puro (Gomes, 2016).

Outro método usado para produção de ozono é a radiação ultravioleta. Neste método, o ozono é sujeito à radiação ultravioleta (UV) ($130 < \lambda < 170$ nm). As moléculas são separadas em átomos de oxigénio, os quais se combinam e originam ozono (Alves, 2005).

Os custos da ozonização são cerca de duas a três vezes superiores aos da cloração. Isto porque a quebra de ligações estáveis entre os átomos da molécula de oxigénio consomem quantidades elevadas de energia, por volta de 10 a 20 kWh/kg O₃ originado (Alves, 2005).

2.5.2.3. Tanque de contacto

O tanque de contacto tem o objetivo de promover a transferência do ozono gasoso para a água, promovendo o contacto entre o ozono e a massa de água (Cavalheiro, 2005).

Ainda segundo Cavalheiro (2005), a configuração do tanque de contacto é determinada com base nos objetivos do processo e as reações químicas a ele associadas. Por exemplo, no caso em que as reações químicas são mais rápidas do que a transferência de ozono para a água (ou seja, a transferência de massa é a etapa limitante), o tanque de contacto deve promover a maior transferência de ozono no menor período de tempo. Este tipo de operação inclui a oxidação de ferro, manganês ou compostos orgânicos simples. Já no caso em que as reações são mais lentas do que a transferência de ozono para a água (ou seja, a reação química é a etapa limitante), o tempo de retenção deve ser elevado e devem existir vários pontos de aplicação de ozono. Este tipo de operação inclui a desinfecção ou oxidação de compostos orgânicos complexos.

Os tipos mais comuns de tanque de contacto são (EPA, 1999):

- Tanque com difusão de bolhas;
- Tanque com injetor;

- Tanque com turbina.

A seleção do tanque a usar depende dos objetivos do processo e de outros fatores como o espaço disponível e considerações económicas. Na Tabela 3 apresentam-se os critérios de seleção baseados no objetivo do processo.

Tabela 3: Critérios de seleção de tanques de contacto

(Adaptado de Cavalheiro, 2005)

Objetivo do Tratamento	Tanque de Contacto Adequado
Desinfecção primária	Difusão de bolhas com várias câmaras
Oxidação do ferro e manganês	Difusão de bolha com várias câmaras Injetor
Remoção de cor	Difusão de bolha com várias câmaras Injetor Turbina
Controlo de odor e sabor	Difusão de bolha com várias câmaras
Remoção de algas	Turbina
Oxidação	Difusão de bolha com várias câmaras Injetor

- Tanque com difusão de bolhas

O tanque de contacto com sistema de difusão de bolhas recorre ao uso de grelhas de difusores de bolhas finas dispostas no fundo do tanque (Gomes, 2016). Este mecanismo pode apresentar algumas variações, nomeadamente o número de câmaras e a orientação do escoamento do gás relativamente ao líquido (contra-corrente, co-corrente e ambos). Na Figura 4 encontram-se esquematizadas as diferentes configurações possíveis.

Atualmente o tanque de difusão de bolhas é o mais implementado nas ETA (Gomes, 2016), apresentando inúmeras vantagens: não tem partes móveis, tem uma elevada eficiência de transferência de ozono, é fácil de operar (EPA, 199), adapta-se quer a reações rápidas quer a reações lentas, tem uma elevada eficiência hidráulica e não tem necessidades adicionais de energia (Cavalheiro, 2005). Como desvantagens refere-se a necessidade de uma altura elevada para o tanque, o escoamento preferencial das bolhas em sentido vertical e manutenção de tubagem e juntas vedantes (EPA, 1999).

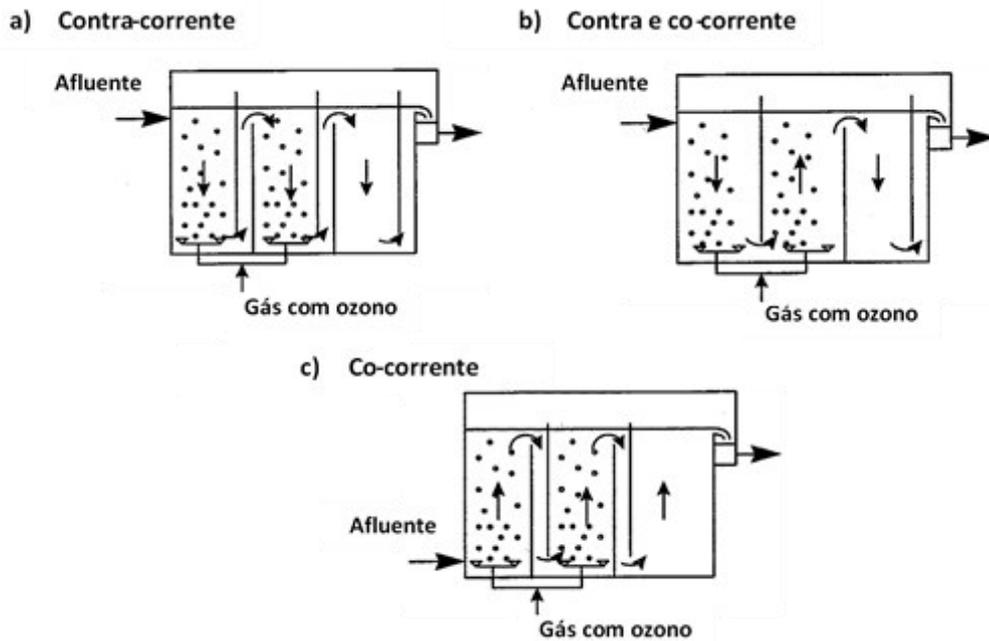


Figura 4: Diversas configurações dos tanques com difusão de bolhas.

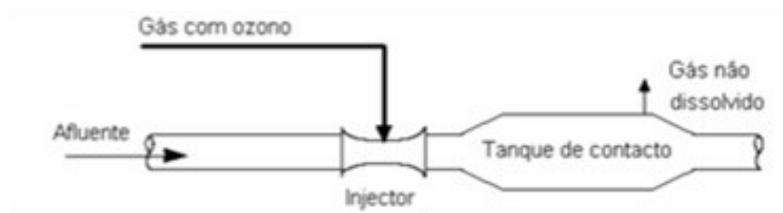
(Imagem adaptada de EPA, 1999)

➤ Tanque com injetor

No sistema de tanque com injetor, o ozono é injetado numa corrente de água que se encontra a uma pressão negativa, gerada numa secção de Venturi, arrastando o ozono para o seu interior. Em muitos casos, uma corrente lateral é desviada e bombada até atingir uma pressão maior, aumentando deste modo o vácuo disponível para a injeção do ozono (Figura 5). Após a injeção de ozono na corrente lateral, esta é novamente misturada com a corrente principal em condições de elevada turbulência de forma a aumentar a dispersão do ozono na água (EPA, 1999). Normalmente é necessário algum tempo de contacto adicional para se atingir o objetivo do processo, sendo muitas vezes usado um reator tubular para esse efeito (Cavalheiro, 2005).

As principais vantagens deste sistema são: injeção e mistura estática sem partes móveis, elevada eficiência de transferência, tanque de contacto menos profundo comparativamente ao de difusão de bolhas (EPA, 1999). Já as desvantagens apresentadas por este sistema são: perda de carga adicional provocada pelo misturador estático (que pode levar à necessidade do uso de uma bomba, ocorrendo um gasto de energia extra), capacidade de mistura na vertical limitada pelo sistema de injeção, e operação mais complexa e de maior custo (comparativamente ao sistema de difusão de bolhas) (EPA, 1999).

a) Injeção na corrente principal



b) Injeção na corrente lateral

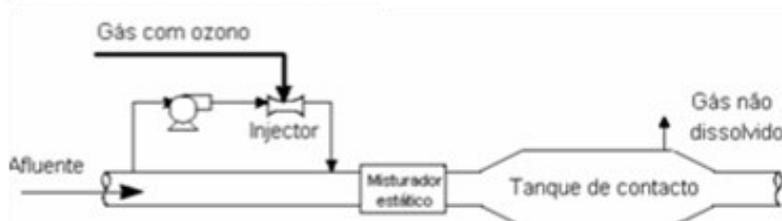


Figura 5: Sistema de injeção de ozono.

(Imagem adaptada de EPA, 1999)

➤ Tanque com turbina

As turbinas são responsáveis pela alimentação de ozono ao tanque de contacto, e pela mistura do ozono com a água (Figura 6). A transferência de ozono pode exceder os 90 %, porém, as necessidades energéticas para se obter tal eficiência são elevadas.

Este tipo de tanque de contacto deve possuir entre 2 a 5 metros de altura e 1,5 a 5 metros de largura. Pode ser necessário tempo de contacto adicional, o que requer maior volume de contacto.

As principais vantagens associadas a este tipo de sistema são: a transferência é melhorada pela elevada turbulência, tem uma altura menor comparativamente ao tanque de difusão de bolhas, as turbinas podem aspirar o gás não dissolvido e reutilizá-lo, e elimina problemas de colmatação dos difusores. As principais desvantagens são: necessidades energéticas adicionais, deve ser mantido um caudal de gás constante (diminuindo a eficiência da transferência do ozono e a capacidade de mistura na vertical), e a turbina e o motor requerem manutenção (EPA, 1999).

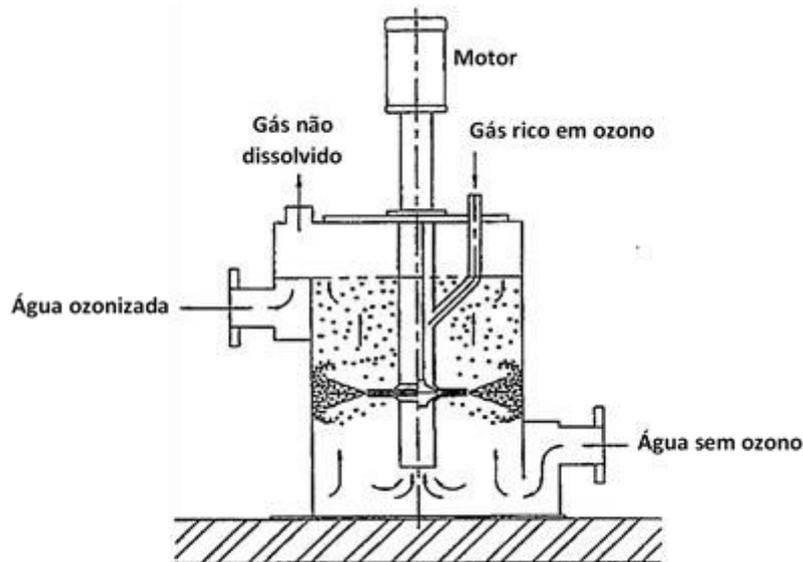


Figura 6: Esquema típico de um tanque de contacto com turbina.

(Imagem adaptada de EPA, 1999)

2.5.2.4. Sistema de Destruição de Ozono Não Consumido

De forma a proteger o meio ambiente e a população envolvente, é necessário destruir o ozono excedentário do processo de ozonização (Gomes, 2016). A concentração do ozono no gás de saída do tanque é normalmente muito acima das concentrações que causam irritação e tosse. Desta forma, é necessário recolher o ozono excedentário e transforma-lo em oxigénio antes de o enviar para a atmosfera, sendo o objetivo do sistema de destruição reduzir a concentração até 0,1 ppm em volume (ou seja, cerca de 0,2 mg/L) (Cavalheiro, 2005).

Segundo Cavalheiro (2005) são vários os sistemas existentes para a destruição de ozono não consumido, nomeadamente a reinjeção, a decomposição térmica, a redução química com agente redutor, a redução catalítica com um óxido metálico, e a diluição.

No método de reinjeção geralmente são necessários dois tanques de contacto, sendo que o gás que sai do primeiro tanque é recolhido e injetado no segundo tanque. Este método por si só, não é suficiente para reduzir a concentração de ozono para os níveis pretendidos, implicando o uso conjunto com outro método.

2. Revisão Bibliográfica

O método de redução química com um agente redutor é realizado numa torre de lavagem de gases. Deve ser escolhido um agente redutor de baixo custo e que não seja oxidado pelo oxigénio do ar, não existindo um universalmente aceite.

A decomposição térmica do ozono é feita a temperaturas elevadas (250 a 350 °C), tendo a desvantagem de consumir muita energia. Os gases de exaustão podem ser reaproveitados para aquecer a corrente de entrada, rica em ozono, diminuindo assim as necessidades energéticas mas aumentando o custo de investimento.

Os catalisadores funcionam em conjunto com um destruidor térmico, a temperaturas mais baixas que no caso anterior (100 a 150 °C). São muito eficazes na eliminação do ozono, atingindo concentrações inferiores a 0,1 ppm vol.

A diluição é feita com ar e usa-se quando se considera que é a opção mais prática (Cavalheiro, 2005).

2.5.3. Local de Aplicação de Ozono no Processo de Tratamento de Água

Num sistema de tratamento de água, os locais tipicamente usados para aplicação de ozono são à entrada da estação de tratamento (água bruta) – denominando-se de pré-ozonização, e após a decantação/sedimentação – denominando-se de ozonização intermédia (Figura 7) (EPA, 1999).

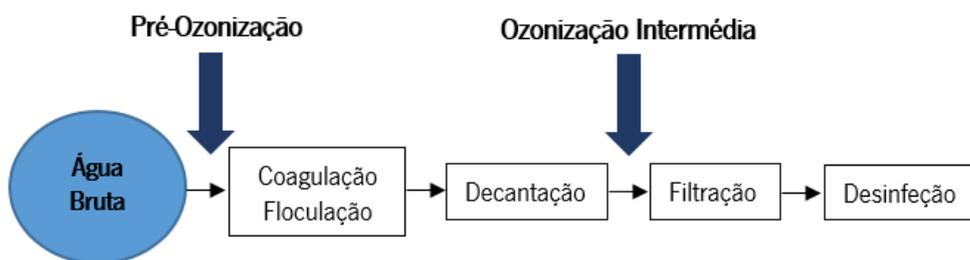


Figura 7: Possíveis locais de aplicação de ozono num sistema de tratamento de água.

(Imagem adaptada de Gomes, 2016)

A determinação do local ideal para aplicação de ozono num determinado processo é conseguida pela análise da qualidade da água bruta, nomeadamente a sua turvação e necessidade de ozono (a quantidade de ozono necessária para satisfazer as exigências de todas as oxidações). Na Tabela 4 encontram-se descritos os critérios de seleção do local ideal para aplicação de ozono, para pequenos sistemas (EPA, 1999).

Tabela 4: Critérios de seleção do local de aplicação de ozono, para pequenos sistemas

(Adaptado de EPA, 1999)

Categoria	Qualidade da água bruta		Local de aplicação
	Turvação	Necessidade de Ozono	
I	<10 NTU	<1 mg/L	Entrada da ETA ou após sedimentação
II	>10 NTU	<1 mg/L	Após sedimentação
III	<10 NTU	>1 mg/L	Entrada da ETA ou após sedimentação
IV	>10 NTU	>1 mg/L	Após sedimentação e após primeira filtração (caso seja necessário)

2.5.4. Possíveis Usos do Ozono

O ozono pode ser utilizado para diversos fins no tratamento de água para consumo, sendo tipicamente usado para (EPA, 1999) (Cavalheiro, 2005):

- Desinfecção primária;
- Oxidação de ferro, manganês e compostos que conferem cheiro e sabor;
- Remoção de cor e turvação;
- Melhoria dos processos de coagulação e filtração;
- Controlo de Percursos de Sub Produtos de Desinfecção (SPD).

O ozono é extremamente eficaz na eliminação de bactérias, pois concentrações baixas (0,01 ppm) apresentam toxicidade para esses microrganismos. Contudo, o ozono apenas pode ser utilizado como desinfetante primário, uma vez que não tem efeito residual. A presença de substâncias oxidáveis na água pode retardar a desinfecção até que a necessidade de ozono inicial tenha sido satisfeita. Quando se atinge esse ponto, a desinfecção ocorre rapidamente.

A presença de ferro e manganês na água confere cor, sabor e cheiro desagradável à mesma. Além disso, os iões de ferro e manganês, em concentrações de 0,1 mg/L e 0,05 mg/L respetivamente,

podem manchar as roupas e danificar tubagens. O ozono oxida estes iões a estados de oxidação menos solúveis, os quais precipitam e são removido por sedimentação e/ou filtração. O ferro oxida a pH entre 6 e 9, mas o manganês oxida melhor a $\text{pH} \approx 8$. Excesso de ozono pode causar a resolubilização do manganês, não tendo qualquer efeito sobre o ferro.

Os compostos orgânicos sintéticos, juntamente com os compostos inorgânicos naturais e os materiais orgânicos alterados química e biologicamente, são os principais responsáveis pelo sabor e cheiro da água. A ação de determinadas algas e actinomicetes sob materiais húmicos gera compostos hidrossolúveis, os quais exalam cheiros fortes. Apenas o ozono é capaz de os oxidar.

Em geral, a cor das águas superficiais é devida a materiais orgânicos naturais (como os ácidos húmicos, fúlvicos e tânicos). Estes compostos resultam da decomposição da matéria vegetal e são moléculas que contêm diversas ligações duplas conjugadas, algumas das quais são facilmente quebradas pelo ozono.

A turvação da água é removida por ozonização através de uma combinação entre oxidação química e neutralização de carga. As partículas coloidais, que causam a turvação, são mantidas em suspensão graças a cargas negativas. Quando se aplica ozono, essa carga é neutralizada e o colóide desagrega-se. Adicionalmente, o ozono altera as propriedades superficiais dos colóides, pois oxida os materiais orgânicos que existem na sua superfície.

Na literatura existem dados que indicam que o uso de ozono melhora a eficiência da coagulação e filtração (Cavalheiro, 2005).

2.5.5. Subprodutos da Desinfecção com Ozono

Segundo Gomes (2016) após a introdução do ozono na água uma série de reações complexas podem acontecer, levando à formação de bromato, através de brometo que se encontra presente na água. Por via direta o brometo reage com o ozono conduzindo à formação do hipobromito progressivamente até à formação de bromatos, subproduto de desinfecção. Por via indireta, através da decomposição do ozono na água, os radicais hidroxilo e o ozono são os responsáveis pela conversão do ião brometo no radical brometo através de sucessivas reações até se alcançar também o bromato. O aumento do pH e o aumento do tempo de contacto também proporcionam um aumento na concentração de bromato.

A reação do ozono em águas contendo bromatos é um facto preocupante para a Saúde Pública devido à possibilidade de efeitos cancerígenos.

Contudo, deve-se minimizar a ocorrência do mesmo na água considerando a seleção correta dos reagentes e das doses aplicadas. O uso de ozono em quantidade reduzida e a diminuição de pH podem ser aspetos a ter-se em conta para a minimização da concentração de bromatos na água. Para além disso qualquer matéria orgânica presente na água pode reduzir a formação do bromato.

3. Caso de estudo

3.1. O Grupo AdP – Águas de Portugal e a empresa Águas do Norte, S.A.

O Grupo AdP – Águas de Portugal - tem atividade nos domínios do abastecimento de água e do saneamento de águas residuais. Estes constituem-se como serviços de interesse económico geral e são indispensáveis ao bem-estar das populações, ao desenvolvimento das atividades económicas e à proteção do meio ambiente. Através das suas empresas, o Grupo AdP tem uma presença em todo o País, de Norte a Sul.

A empresa Águas do Norte, S.A. foi constituída pelo Decreto-Lei n.º 93/2015, de 29 de maio, mediante a agregação das empresas Águas do Douro e Paiva, S.A., Águas do Noroeste, S.A., Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, S.A. e SIMDOURO – Saneamento do Grande Porto, S.A., integradas no Grupo Águas de Portugal. Atualmente, a Águas do Norte é a entidade gestora do sistema multimunicipal em “alta” responsável pela captação, tratamento e abastecimento de água para consumo público, bem como pela recolha, tratamento e rejeição de efluentes domésticos, urbanos e industriais e de efluentes provenientes de fossas sépticas (Águas do Norte).

3.2. ETA de Areias de Vilar – Processo de Tratamento

A ETA de Areias de Vilar é gerida pela Águas do Norte e capta a água no rio Cávado, que nasce na Serra do Larouco a uma altitude de 1 520 m e percorre aproximadamente 129 km até à foz, em Esposende. Apresenta uma bacia hidrográfica com 1 593 km² de área, abrangendo os concelhos de Amares, Barcelos, Boticas, Braga, Cabeceiras de Basto, Esposende, Montalegre, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Póvoa de Lanhoso, Terras de Bouro, Vieira do Minho e Vila Verde (Figura 8). O escoamento anual médio na foz é cerca de 2 177 hm³. Os seus principais afluentes são o rio Homem e o rio Rabagão (Águas do Norte). A densidade populacional média ao longo da bacia hidrográfica do rio Cávado, ronda os 200 habitantes/km², com um mínimo de 22 habitantes/km² (Montalegre) e um máximo de 1 770 habitantes/km² (Braga) (Vieira et al., n.d.).

A água da Bacia Hidrográfica do rio Cávado tem como principais finalidades o abastecimento de água (quer para uso doméstico, quer para uso industrial), fins agrícolas e piscícolas (na zona estuarina), recreio e produção de energia elétrica, realizando-se esta de forma bastante intensiva.

Ao longo da bacia funcionam seis grandes aproveitamentos hidroelétricos, além de pequenas unidades, com uma potência instalada de 377.6 MW e uma produção média anual de 1 535 GWh. Nestas barragens é possível armazenar grandes volumes de água, cerca de 1 170 hm³, o que representa uma elevada capacidade de regulação do caudal natural do rio (Vieira et al., n.d.).



Figura 8: Bacia hidrográfica do rio Cávado e fotografia aérea da ETA de Areias de Vilar.

(Imagem adaptada de SNIAmb e Águas do Norte S.A.)

A ETA de Areias de Vilar (Figura 8), em funcionamento desde 1999, capta água no rio Cávado, a jusante da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide, na freguesia de Areias de Vilar, concelho de Barcelos. Trata anualmente cerca de 33 milhões de m³ de água, distribuída por um subsistema de aproximadamente 385 km de condutas, 32 estações elevatórias e 83 reservatórios, abastecendo cerca de 710 000 habitantes. O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) de Areias de Vilar abastece os Municípios de Barcelos, Esposende, Maia (zona Norte), Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Vila Nova de Famalicão e Vila do Conde.

O processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar encontra-se representado em Fluxograma (Figura 9), com indicação das alterações que se pretende realizar na linha de tratamento, nomeadamente (i) o reforço da etapa de pré-oxidação com novos geradores de ozono, (ii) a instalação de um sistema de desinfecção por UV, e (iii) a desidratação de lamas através do filtro prensa. Desta forma, o Fluxograma apresenta o processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar de forma completa e atual. Na Figura 9 encontram-se também representados os pontos de amostragem existentes ao longo de toda a linha de tratamento, onde são realizadas as colheitas de amostra para posterior análise. No Anexo I encontra-se descrito de forma detalhada todo o processo de tratamento realizado na ETA de Areias de Vilar.

3. Caso de estudo

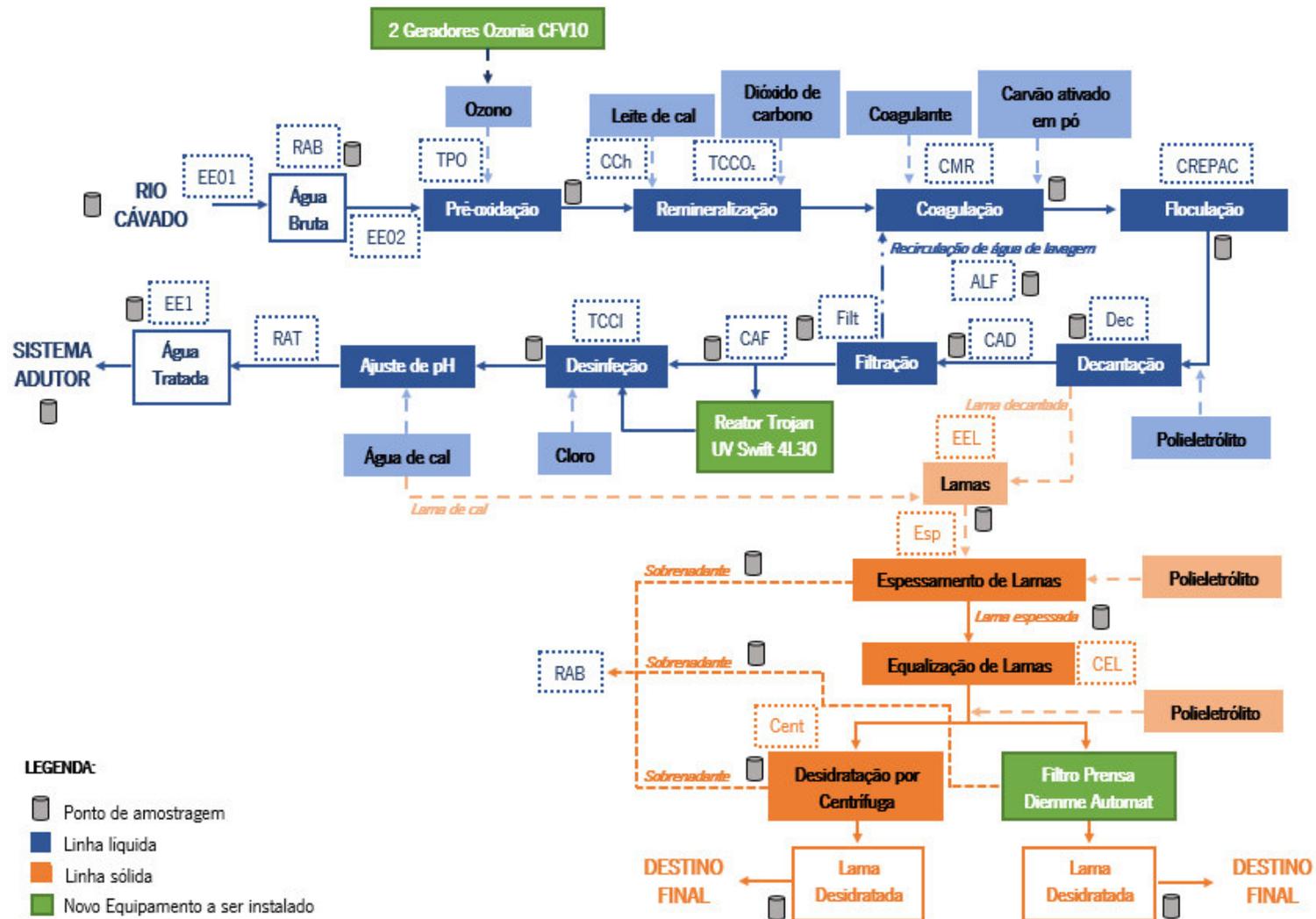


Figura 9: Fluxograma do processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar.

(EE01= estação elevatória 01; RAB= reservatório de água bruta; EE02= estação elevatória 02; TPO= torre de pré-oxidação; CCh= câmara de chegada; CMR= câmara de mistura rápida; CREPAC= canal de repartição de caudais; Dec= decantadores; CAD= canal de água decantada; ALF= água de lavagem de filtros; Filt= filtros; CAF= cisterna de água filtrada; TCCI= tanque de contacto com cloro; RAT= reservatório de água tratada; EE1= estação elevatória 1, água tratada; EEL= estação elevatória de lamas; Esp= espessadores; CEL= cisterna de equalização de lamas; Cent= centrifuga)

3.3. Controlo de Qualidade e Operacional na ETA de Areias de Vilar

A segurança de água abastecida para consumo humano é uma prioridade, dando-se permanente atenção à verificação da conformidade da mesma, à proteção da saúde do consumidor e à gestão dos riscos em todas as fases do sistema de abastecimento que possam pôr em causa a segurança do produto. De forma a assegurar o controlo da qualidade da água abastecida, assim como usufruir de máxima eficiência no tratamento, a AdNorte tem implementado os seguintes programas e planos:

- Programa de Controlo de Qualidade da Água (PCQA);
- Plano de Controlo Operacional (PCO);
- Plano de Segurança da Água (PSA).

O PCQA constitui um programa de controlo analítico cujo objetivo é verificar o cumprimento dos valores paramétricos estipulados pelo Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro, relativos à qualidade da água para consumo humano. A ERSAR é a entidade responsável por aprovar anualmente o PCQA. Contudo, a monitorização da qualidade da água efetuada pela AdNorte vai muito para além do estritamente exigido por lei, quer em número de análises, quer em parâmetros investigados. A empresa tem implementado um PCO para verificar de forma permanente e contínua a qualidade da água em toda a extensão do sistema de abastecimento, com vista a detetar, atempadamente, e corrigir, em tempo útil, eventuais alterações da qualidade da água.

No PCO da ETA de Areias de Vilar estão definidos Limites de Alerta (LA) e Limites Críticos (LC), para diversos parâmetros analisados pelo LabAdNorte (Laboratório Acreditado das Águas do Norte) e Laboratório de Operação do SAA Areias de Vilar, para cada uma das fases do processo de tratamento. Na água tratada, à saída da ETA (nomeadamente na EE1), os limites do PCO por vezes coincidem com os valores da legislação (em regra, os LC correspondem aos limites definidos no Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro), mas na maior parte dos casos são até valores mais restritivos, permitindo prevenir que os valores excedam os valores da legislação. Na Tabela A1 do Anexo II, encontram-se expostos os LA e LC definidos atualmente no PCO para diversos parâmetros, assim como os VP definidos no Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro. Apesar dos limites regentes à saída da ETA serem os do PCO, caso ocorra algum incumprimento onde o valor parametrizado coincide com a legislação, comunicando-se à ERSAR e à Autoridade de Saúde, apesar de não ser uma obrigação legal.

3. Caso de estudo

A AdNorte possui também um PSA, elaborado segundo as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), e que consiste numa metodologia integrada de avaliação e gestão de riscos que engloba todas as etapas do abastecimento de água, desde a captação até ao cliente final.

O controlo analítico na ETA de Areias de Vilar é concretizado através das seguintes formas:

- Monitorização do funcionamento da ETA através da Sala de Comando;
- Análises diárias realizadas pela equipa de operação da ETA;
- Análises realizadas pelo LabAdNorte.

A equipa de exploração é responsável pelo funcionamento da ETA, assim como parte do controlo analítico da mesma. Através da Sala de Comando é possível monitorizar toda a linha de tratamento, pois existem medidores em linha instalados em pontos-chave do processo de tratamento. Esta informação é dada em tempo real, o que permite agir de imediato. A equipa de exploração é também responsável por fazer uma ronda diária verificando no local se existe alguma anomalia, assim como realizar algumas análises. Além da equipa de operação, o LabAdNorte realiza análises a diversos parâmetros de qualidade da água, alguns dos quais de forma diária, e outros com periodicidade variável (semanal, quinzenal, mensal, trimestral e anual).

Na Tabela A2 (Anexo III), são indicados todos os parâmetros analisados em tempo real através dos medidores em linha, assim como a estrutura onde estes se encontram. São também mencionados os parâmetros de periodicidade variável analisados pelo LabAdNorte e os parâmetros realizados de 4 em 4 horas pela equipa de exploração.

Além da monitorização realizada ao longo da linha de tratamento (desde o RAB até à EE1), a captação de água bruta no rio Cávado, é também alvo de monitorização, permitindo caracterizar o meio hídrico. Esta monitorização consiste numa obrigação legal, nomeadamente o Contrato de Concessão da Captação de Areias de Vilar. Contudo, mais uma vez, a monitorização da qualidade da água bruta na captação do rio Cávado vai além da obrigação legal, quer em número de análises quer em número de parâmetros analisados.

3.4. Alterações a implementar na ETA de Areias de Vilar

Como forma de melhorar o processo de tratamento e consequentemente fornecer água de melhor qualidade, a Águas do Norte submeteu em 2018, uma candidatura ao Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR): “Melhoria do processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar”.

Tratando-se de um sistema dependente de uma origem fortemente vulnerável aos usos do meio hídrico a montante, os quais originam uma elevada variabilidade da água bruta em qualidade e quantidade, foram avaliadas soluções que otimizem e fiabilizem os processos de tratamento existentes. Desta forma foram aprovados dois projetos:

- Substituição dos atuais geradores de ozono, reforçando desta forma a capacidade de pré-oxidação;
- Instalação de um sistema de desinfecção por ultravioleta (UV), reforçando a linha de tratamento.

A par dos dois projetos aprovados pelo POSEUR, iniciou-se também em 2018, um estudo para implementação de um filtro prensa herdado de uma instalação da Águas do Norte, entretanto desativada (ETA de Amarante):

- Instalação de um filtro prensa para complemento do processo de desidratação de lamas existente na ETA de Areias de Vilar.

Na ETA de Areias de Vilar, a geração de ozono era assegurada por 2 geradores de ozono (Marca e modelo: Ozonia, ZF04AT), desde o arranque da instalação (1999). O sistema de doseamento de ozono da ETA de Areias de Vilar foi projetado assumindo apenas como objetivos a destruição de moléculas orgânicas de maior dimensão para melhor desempenho da etapa de coagulação-floculação, alguma remoção de algas e oxidação de diversos compostos tais como o ferro, manganês e precursores organoclorados. No entanto, decorridos alguns anos de operação, o reforço da taxa de tratamento (TT) na água ozonizada tornou-se numa exigência do processo de tratamento, na redução do número total de fitoplâncton e controlo de microrganismos, e desta forma a evitar o seu aparecimento na água tratada.

3. Caso de estudo

Identificada esta necessidade, a ETA opera atualmente com um sistema atualizado de geração de ozono. Neste upgrade, instalaram-se 2 novos geradores de ozono (Marca e modelo: Ozonia, CFV 10), manteve-se um dos geradores antigos (Marca e modelo: Ozonia, ZF04AT) e substituiu-se o destruidor térmico de ozono existente por um destruidor catalítico.

A desidratação de lamas é assegurada desde o arranque da instalação por duas centrífugas (Marca e modelo: Alfa Laval, NX4555). É pretendido que a ETA opere com as duas centrífugas e o filtro prensa.

Com a instalação do reator de desinfecção (Marca e modelo: Trojan UV, Swift 4L30) é pretendido que a ETA continue a realizar o processo de desinfecção com cloro, funcionando o sistema de desinfecção por UV como auxílio à desinfecção quando necessário.

Na Figura 10 apresentam-se os equipamentos propostos para cada das etapas do processo de tratamento a otimizar:



Figura 10: Novos equipamentos a instalar na ETA de Areias de Vilar.

O principal objetivo deste estudo consiste em avaliar a eficiência de processo e retorno económico associado à instalação dos novos geradores de ozono e efetuar análise comparativa com os geradores de ozono antigos.

4. Metodologia

Com o presente trabalho pretendeu-se realizar um levantamento e compilação dos dados de qualidade do processo de tratamento da linha líquida na ETA de Areias de Vilar desde 2014 até ao presente, para posterior comparação com os dados de qualidade obtidos após introdução de novas tecnologias.

Numa primeira fase procedeu-se ao estudo aprofundado do processo de tratamento das linhas líquida e sólida, transpondo-se toda a informação adquirida para um fluxograma (apresentado anteriormente na seção 3). Em seguida, realizou-se a recolha, organização sistemática e validação dos dados de caracterização qualitativa da linha líquida de 1 de janeiro de 2014 a 30 de junho de 2019. O processo de pré-oxidação após instalação de novos geradores de ozono foi analisado no período compreendido entre 8 de julho a 30 de setembro de 2019.

De forma geral, o presente estudo encontra-se dividido em quatro fases distintas (Figura 11), nomeadamente: análise da qualidade da água bruta, caracterização qualitativa e análise da eficiência do processo de tratamento, análise da qualidade da água tratada e por último, análise detalhada do processo de pré oxidação.

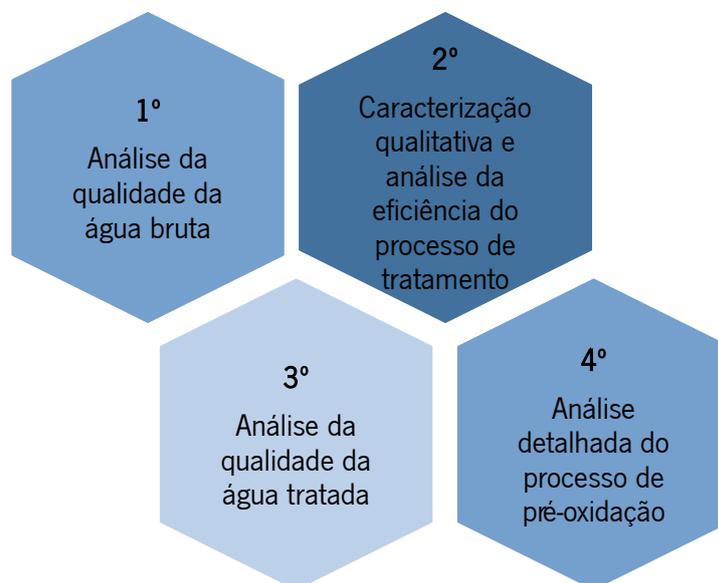


Figura 11: Principais fases de estudo da presente dissertação.

Todos os dados foram facultados pela empresa Águas do Norte, através do recurso às seguintes plataformas:

4. Metodologia

- o Qualidade da Água Online

O sistema InLab LIMS Aqua., internamente designado por Qualidade da Água Online, é a plataforma através da qual a equipa de exploração visualiza os resultados das análises realizadas no LabAdNorte. A ferramenta está previamente parametrizada com limites de alarme e de alerta, definidos pela equipa de exploração ou vigentes na legislação em vigor. Os analistas do LabAdNorte vão alimentando esta plataforma com os resultados das análises laboratoriais, sendo primeiramente sujeitas a validação pelo responsável do laboratório.

- o NAVIA

Consiste num Software que permite fazer a gestão operacional de uma instalação a vários níveis. Apoiar maioritariamente na calendarização de tarefas, realização de registos, consulta de histórico de dados e alarmes que avisam os colaboradores quando algum valor introduzido não está conforme, apoiando desta forma a parametrização do processo de tratamento.

4.1. Análise da Qualidade da Água Bruta

Para avaliar a qualidade da água bruta captada no rio Cávado, esta foi classificada segundo as classes de qualidade estabelecidas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto (disposto no Anexo III do presente trabalho), com base nos critérios definidos pelo artigo 8.º do mesmo DL. No Anexo IV (Tabela A3) do presente trabalho encontram-se dispostos os valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admissíveis (VMA) para os diversos parâmetros estipulados pelo DL.

De salientar que esta avaliação considerou os valores dos parâmetros compreendidos entre o dia 1 de janeiro e dia 31 de dezembro de cada ano, e não entre o dia 1 de outubro e 30 de setembro como se encontra estipulado pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto.

De forma a clarificar a leitura desta informação, optou-se por apresentar para cada parâmetro de qualidade da água, a concentração média anual (com respetivo desvio padrão associado) e indicar entre parênteses, a classe de qualidade em que se encontra. Os parâmetros que se enquadram na classe A1 são apresentados a verde, já os que enquadram na classe A2 apresentam coloração amarela e os que se enquadram na classe A3 possuem coloração laranja. Esta seção do estudo apenas incluiu dados da plataforma Qualidade da Água Online.

4.2. Caracterização Qualitativa e Análise da Eficiência do Processo de Tratamento

Na Tabela 5 encontram-se compilados todos os parâmetros analisados nesta fase do estudo, indicando-se também qual a estrutura operacional onde são monitorizados. De realçar que quando um determinado parâmetro não é monitorizado à entrada da linha de tratamento (no RAB), utilizaram-se dados da captação (Cap) como referência, assumindo que a qualidade da água no RAB é equivalente (ou muito próxima) à qualidade da água na Cap. Esta seção do estudo apenas incluiu dados da plataforma Qualidade da Água Online.

Tabela 5: Parâmetros analisados na seção II do presente estudo, e respetivo local (estrutura operacional) de colheita da amostra a analisar

Parâmetro	Cap	RAB	TPO	CMR	CREPAC	CAD	CAF	EE1
Alumínio	X						X	X
Azoto Amoniacal		X					X	X
Bactérias Coliformes		X	X				X	X
Cálcio		X						X
Cheiro	X							X
Cianobacterias		X						X
<i>Clostridium perfringens</i>		X						X
Condutividade		X			X		X	X
Cor		X					X	X
<i>Cryptosporidium</i>	X							X
Dureza Total	X							X
Enterococos		X	X				X	X
<i>Escherichia coli</i>		X	X				X	X
Fitoplâncton Total		X						X
<i>Giardia</i>	X							X
HPA. Total	X							X
Magnésio		X						X
Manganês		X						X
Nitratos	X						X	X
Nitritos	X							X
Oxidabilidade		X						X
pH		X		X	X	X	X	X
Temperatura		X					X	X
Turvação		X				X	X	X
Matéria Orgânica		X	X			X	X	X

Cap= captação; RAB= reservatório de água bruta; TPO= torre de pré-oxidação; CMR= câmara de mistura rápida; CREPAC= canal repartidor de caudais; CAD= canal de água decantada; CAF= cisterna de água filtrada; EE1= estação elevatória 1; HPA = hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

4. Metodologia

Posteriormente, os dados recolhidos foram organizados de forma sistemática em folhas EXCEL, permitindo uma análise prática e simples. Todos os valores foram analisados individualmente, de forma a detetar falhas e valores desviantes, casos em que se procedeu à sua correção (quando possível) e validação. Tendo todos os dados organizados e validados realizou-se o tratamento dos mesmos, concebendo tabelas e gráficos e comparando os resultados obtidos nas diversas etapas de tratamento com os valores limite de alerta (LA) e limites críticos (LC) pré-estabelecidos internamente pela direção de exploração da ETA e regentes no PCO.

As variações observadas nos diversos parâmetros ao longo do tempo e/ou ao longo da linha de tratamento foram analisadas e sempre que possível (ou adequado) calculou-se a Eficiência de Remoção (ER), expressa em percentagem (%) (equação 1).

$$ER = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100 \quad (1)$$

Em que **C_{in}** – concentração do parâmetro à entrada da estrutura operacional em estudo;

C_{out} – concentração do parâmetro à saída da estrutura operacional em estudo.

Maioritariamente a ER calculada apenas considerará a qualidade da água bruta (Cap ou RAB) e da água tratada (EE1) descrevendo desta forma a ER global de todo o processo de tratamento. Contudo, quando possível, foi calculada a ER por etapa de tratamento.

Os resultados obtidos com os cálculos de ER são apresentados através de médias (e respetivos desvios padrões), por ano de estudo e por estação do ano.

4.3. Análise da Qualidade da Água Tratada

Para avaliar a qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, foram comparados os valores obtidos nas análises realizadas à água na saída da ETA (EE1), com os valores paramétricos (VP) estabelecidos no Anexo I (Parte I, Parte II e Parte III) do Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro. No Anexo V do presente trabalho estão expostos os VP dos diversos parâmetros (Tabela A4, Tabela A5 e Tabela A6).

De forma a clarificar a leitura desta informação, optou-se por apresentar para cada parâmetro de qualidade da água, a concentração média anual (com respetivo desvio padrão associado), indicando em observações as situações de incumprimento que ocorreram durante o período em estudo.

Esta seção do estudo apenas incluiu dados da plataforma Qualidade da Água Online.

4.4. Análise detalhada do Processo de Pré-Oxidação

Os novos geradores de ozono encontram-se instalados e em funcionamento desde o dia 8 de julho de 2019, tendo decorrido até ao final do mês de setembro de 2019 o período de arranque e ensaio dos equipamentos.

Esta análise compreende dados entre janeiro de 2014 a 7 de julho de 2019 (para caracterização anterior aos novos geradores de ozono CFV 10, Ozonia) e entre 8 de julho a 30 de setembro (para caracterização posterior aos geradores de ozono CFV 10, Ozonia).

Em comparação com o sistema anteriormente instalado, pretende-se analisar a etapa de pré-oxidação da ETA de Areias de Vilar nas seguintes vertentes:

- Caracterização qualitativa da água à saída das TPO;
- Eficiência de remoção de determinados compostos;
- Análise económica;
- Análise aos ensaios realizados para otimização do processo de pré-oxidação.

Qualidade da Água à Saída das TPO

Para analisar qualitativamente a água à saída das TPO foi definido como alvo de estudo a concentração de ozono residual e a concentração de bromatos. Para o efeito, foi necessário recorrer às plataformas Qualidade da Água Online e NAVIA, sendo que para o parâmetro ozono residual optou-se por analisar os dados obtidos quer pelo LabAdNorte, quer pelo laboratório de operação.

4. Metodologia

Eficiência de Remoção

Para analisar efetivamente a eficiência de remoção conseguida com a etapa de pré-oxidação foram analisados 4 parâmetros microbiológicos (bactérias coliformes, *E.coli*, Enterococos e *Clostridium perfringens*) e a matéria orgânica (UV 254). Os dados foram adquiridos através da plataforma Qualidade da Água Online. A ER (equação 1) é apresentada por ano de estudo, de forma global, e por linha de tratamento.

Análise Económica

O oxigénio é a matéria-prima de todo o processo de geração de ozono, sendo essencial uma análise detalhada ao consumo do mesmo. Na ETA de Areias de Vilar o consumo mensal de reagentes é estimado pelos níveis em que os reservatórios de armazenamento dos gases se encontram, *i.e.* uma determinada percentagem do nível do tanque de armazenamento corresponde uma determinada quantidade em quilos de regente. Foram efetuados cálculos para determinar qual o consumo específico mensal de oxigénio pelo caudal de água tratada.

A energia é indispensável ao processo de geração de ozono, sendo também alvo de estudo. Para determinar o consumo específico de energia na etapa de pré-oxidação foi necessário adquirir dados dos consumos energéticos através das seguintes plataformas: a) SmartWatt, utilizada até meados de maio de 2019; b) Kisense Energy Optimiser (KEO), utilizada a partir de meados de maio de 2019.

Ensaios de Otimização do Processo

Por último, de modo a otimizar o processo de pré-oxidação, foram executados ensaios aos equipamentos, de forma a obter as curvas de produção dos mesmo. Com estes ensaios pretendeu-se identificar a concentração ótima dos geradores de ozono face ao consumo de reagentes *versus* consumo de energia elétrica, otimizando o processo ao nível económico mais favorável. Pretendeu-se também fazer análise comparativa dos geradores de ozono antigos com os geradores de ozono novos.

Precedentemente aos ensaios aos geradores de ozono, foram estipulados os caudais de ozono que iriam ser testados, seleccionando-se os caudais que frequentemente são utilizados no processo

de pré-oxidação na ETA e também caudais de ozono extremos (máximo e mínimo). Desta forma, os caudais de ozono selecionados para ensaios foram os seguintes:

- Gerador CL302 A: 27 Nm³/h O₃, 33 Nm³/h O₃, 41 Nm³/h O₃ e 52 Nm³/h O₃.
- Gerador CL302 B: 21 Nm³/h O₃, 27 Nm³/h O₃, 29 Nm³/h O₃, 33 Nm³/h O₃, 35 Nm³/h O₃, e 42 Nm³/h O₃.

Gerador CL302 C: 24 Nm³/h O₃, 30 Nm³/h O₃, 33 Nm³/h O₃, 38 Nm³/h O₃, 40 Nm³/h O₃, e 59 Nm³/h O₃.

Internamente, os geradores de ozono possuem a seguinte terminologia: Gerador CL302 A (referente ao antigo gerador de ozono), Gerador CL302 B (novo gerador de ozono) e Gerador CL302 C (novo gerador de ozono).

Os ensaios aos três geradores de ozono foram realizados de forma individual, de acordo com o seguinte procedimento:

- 1° Selecionar um determinado caudal de ozono (Nm³/h), confirmando esse valor no caudalímetro à saída do gerador;
- 2° Verificar no caudalímetro de alimentação de oxigénio qual o caudal de gás (kg/h) necessário para produzir esse caudal de ozono;
- 3° Aumentar no gerador de ozono o *set-point* do equipamento, iniciando os ensaios nos 10 % e aumentando em 5 % até atingir os 50% do equipamento, e aumentando em 10 % até atingir os 100 % do equipamento;
- 4° Para cada *set-point* definido no item anterior, registar os valores obtidos da concentração de ozono (g/Nm³) no analisador de concentração, e a potência atingida pelo equipamento (kW) no analisador de energia e qualidade de potência.

Após concretização dos ensaios aos geradores de ozono e tendo reunido todos os dados necessários, para cada gerador de ozono foram produzidos graficamente as seguintes curvas:

- Relação entre o caudal de ozono e oxigénio;
- Relação entre a concentração de ozono e a potência;
- Relação entre a produção de ozono e potência.

4. Metodologia

Posteriormente à instalação dos novos geradores de ozono e aos ensaios, foi criado um ficheiro EXCEL dinâmico. Após introdução das variáveis de entrada (condições operacionais), são calculadas as concentrações de ozono necessárias, correspondentes aos diversos caudais volumétricos de ozono ensaiados.

Com o intuito de analisar de forma detalhada a informação que este ficheiro EXCEL nos pode fornecer, foi avaliada a concentração de ozono (C_{O_3}) obtida para os diversos caudais volumétricos de ozono ensaiados (Q_{O_3}), variando o caudal de água a tratar (Q_t) e a taxa de tratamento (TT) aplicada (equação 2).

$$TT = \frac{Q_{O_3} \times C_{O_3}}{Q_t} \quad (2)$$

Em que TT – taxa de tratamento do ozono;

Q_{O_3} – caudal de ozono;

C_{O_3} – concentração do ozono;

Q_t – caudal de água a tratar.

De forma a efetuar uma análise económica, recorreu-se à Supervisão da ETA para obter dados reais de operação de três dias (escolha aleatória). Os dados recolhidos foram: caudal de água a tratar, taxa de tratamento aplicada, e os respetivos intervalos temporais compreendidos.

Para cada dia foi estimado o custo total de produção de ozono segundo os dois modos de operação possíveis (os quais são esclarecidos na secção 5.4.4), sendo estimada a poupança diária e anual, que se poderá alcançar caso se opere através do modo de operação mais favorável do ponto de vista económico.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

5.1. Qualidade da Água Bruta

Sabendo que a qualidade da água bruta tem influência direta no processo de tratamento a aplicar para obter água de qualidade para consumo humano, e na eficiência do próprio tratamento, a água bruta captada no rio Cávado foi classificada, segundo as classes de qualidade estabelecidas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, no período compreendido entre 2014 a junho de 2019.

Tabela 6: Valores médios anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água bruta da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide (Areias de Vilar, Barcelos). A classificação da água de acordo com as classes de qualidade estabelecidas no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto é apresentada entre parêntesis

Parâmetro	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)
pH	Escala de Sorensen	6,7 ± 0,1 (A1)	6,6 ± 0,1 (A1)	6,7 ± 0,1 (A1)	6,8 ± 0,1 (A1)	6,5 ± 0,2 (A2)	6,7 ± 0,1 (A1)
Cor	mg/L	3,8 ± 1,2 (A1)	4,3 ± 1,0 (A1)	5,6 ± 2,0 (A1)	5,0 ± 1,5 (A1)	4,0 ± 0,9 (A1)	3,9 ± 0,8 (A1)
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	5,89 ± 4,7 (A1)	4,1 ± 1,0 (A1)	5,1 ± 3,1 (A1)	4,4 ± 0,8 (A1)	-	-
Temperatura	°C	15,0 ± 3,7 (A1)	15,9 ± 4,3 (A1)	15,0 ± 3,7 (A1)	16,1 ± 4,6 (A1)	14,8 ± 3,6 (A1)	13,1 ± 3,2 (A1)
Condutividade	µS/cm	38,4 ± 5,9 (A1)	42,0 ± 7,8 (A1)	37,2 ± 7,6 (A1)	46,6 ± 13,5 (A1)	37,4 ± 7,5 (A1)	42,5 ± 7,1 (A1)
Cheiro	Fator de diluição	>4,0 ^{a)} (A2/A3)	>4,0^{a)} (A2/A3)	>4,0^{a)} (A2/A3)	>4,0^{a)} (A2/A3)	>4,0^{a)} (A2/A3)	>4,0^{a)} (A2/A3)
Nitratos	mg/L	3,0 ± 0,8 (A1)	3,0 ± 0,9 (A1)	2,5 ± 0,9 (A1)	2,8 ± 0,9 (A1)	2,4 ± 0,9 (A1)	2,7 ± 0,8 (A1)
Fluoretos	mg/L	<0,5 ^{a)} (A1)	<0,5 ^{a)} (A1)	<0,5 ^{a)} (A1)	-	-	-

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que ele não é superior/inferior ao valor apresentado.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

Tabela 6: Valores médios anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água bruta da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide (Areias de Vilar, Barcelos) (Continuação)

Parâmetro	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)
Cloro orgânico total extraível	mg/L	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido	mg/L	0,1 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	-	-
Manganês	mg/L	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	-	-
Cobre	mg/L	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	0,0 ± 0,0 (A1)	-	-
Zinco	mg/L	<0,3 a) (A1)	<0,3 a) (A1)	<0,03 a) (A1)	<0,03 a) b) (A1)	-	-
Boro	mg/L	<0,1 ^{a)} (A1)	<0,1 ^{a)} (A1)	<0,1 ^{a)} (A1)	-	-	-
Berílio	mg/L	<0,0005 a) b)	<0,0005 a) b)	<0,0005 a) b)	-	-	-
Cobalto	mg/L	<0,001 a) b)	<0,001 a) b)	<1,0 a) b)	-	-	-
Níquel	mg/L	<0,002 a) b)	<0,002 a)	<6 a) b)	<0,002 a)	<0,005 a) b)	<0,002 a) b)
Vanádio	mg/L	<0,0005 a) b)	<0,0005 a) b)	<0,0005 a) b)	-	-	-
Arsénio	mg/L	<0,003 a) b) (A1)	<0,003 a) (A1)	<0,003 a) (A1)	-	-	-
Cádmio	mg/L	<0,0003 a) (A1)	<0,001 (A1)	<0,001 (A1)	-	-	-
Crómio total	mg/L	<0,0008 a) b) (A1)	<0,005 a) b) (A1)	<0,005 a) b) (A1)	-	-	-

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que ele não é superior/inferior ao valor apresentado.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente corresponde a análise anual.

Tabela 6: Valores médios anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água bruta da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide (Areias de Vilar, Barcelos) (Continuação)

Parâmetro	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)
Chumbo	mg/L	<0,004 a) b)	<0,004 a) b)	<0,007 a) b)	-	-	-
Selénio	mg/L	<3 a) b) (A1)	<0,0032 a) b) (A1)	<0,003 a) b) (A1)	-	-	-
Mercúrio	mg/L	<2 a) b) (A1)	<2 a) b) (A1)	<2 a) b) (A1)	-	-	-
Bário	mg/L	<0,01 a) (A1)	<0,01 a) (A1)	<0,01 a) (A1)	-	-	-
Cianetos	mg/L	<0,01 a) (A1)	<0,01 a) (A1)	<0,01 a) (A1)	-	-	-
Sulfatos	mg/L	2,3 ± 0,2 (A1)	2,9 ± 0,3 (A1)	2,8 ± 0,9 (A1)	-	-	-
Cloretos	mg/L	4,8 ± 0,4 (A1)	5,9 ± 0,7 (A1)	5,4 ± 1,1 (A1)	-	-	-
Substâncias tensoativas	mg/L	<0,04 ^{a)} (A1)	<0,04 ^{a)} (A1)	<0,04 ^{a)} (A1)	<0,05 ^{a)} (A1)	<0,05 ^{a)} (A1)	<0,05 ^{a) b)} (A1)
Fenóis	mg/L	-	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/L	<0,002 a) (A1)	<0,002 a) (A1)	<0,002 a) (A1)	<0,002 a) (A1)	<0,05 a) (A1)	<0,05 a) b) (A1)
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/L	<0,06 ^{a)} (A1)	<0,06^{a)} (A1)	<0,06^{a)} (A1)	<0,06^{a)} (A1)	<0,06^{a)} (A1)	<0,06^{a)} (A1)

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que ele não é superior/inferior ao valor apresentado.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente corresponde a análise anual.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

Tabela 6: Valores médios anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água bruta da albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide (Areias de Vilar, Barcelos) (Continuação)

Parâmetro	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)
Pesticidas totais	µg/L	<0,025 a) b) (A1)	<0,025 a) b) (A1)	<0,025 a) b) (A1)	-	-	-
Carência Química de Oxigénio	mg/L	<10 ^{a)} (A1)	<10 ^{a)} (A1)	<10 ^{a)} (A1)	<10 ^{a)} (A1)	-	-
Oxigénio dissolvido	% de saturação	104 ± 6 (A1)	101 ± 9 (A1)	95 ± 29 (A1)	93 ± 10 (A1)	102 ± 8 (A1)	104 ± 11 (A1)
Carência Bioquímica de Oxigénio	mg/L	<1,0 ^{a)} (A1)	<1,0 ^{a)} (A1)	<1,0 ^{a)} (A1)	-	-	-
Azoto Kjeldahl	mg/L	<0,5 ^{a)} (A1)	<0,5 ^{a)} (A1)	<0,5 ^{a)} (A1)	-	-	-
Azoto amoniacal	mg/L	-	0,5 ± 0,4 (A2)	0,5 ± 3,1 (A2)	0,5 ± 0,4 (A2)	0,3 ± 0,2 (A2)	0,5 ± 0,2 (A2)
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/L	-	-	-	-	-	-
Carbono Orgânico Total	mg/L	<2,0 ^{a)}	1,22 ± 0,3	1,8 ± 1,1	1,4 ± 0,3	1,1 ± 0,3	-
Coliformes totais	/100 ml	13 214 ± 18 581 (A3)	9 384 ± 13 826 (A3)	9 862 ± 19 411 (A3)	-	-	-
Coliformes fecais	/100 ml	2 277 ± 3 415 (A2)	1 380 ± 2 667 (A2)	2 732 ± 4 686 (A3)	-	-	-
Estreptococos fecais	/100 ml	-	-	-	-	-	-
Salmonelas		Ausente (A1)	Ausente (A1)	Ausente (A1)	-	-	-

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que ele não é superior/inferior ao valor apresentado.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente corresponde a análise anual.

Da análise da Tabela 6 constata-se que de 2014 a junho de 2019 a água a tratar na ETA de Areias de Vilar se inseriu para a maioria dos parâmetros na categoria A1, apresentando contudo uma menor qualidade no que respeita aos parâmetros pH, cheiro, azoto amoniacal, coliformes totais e fecais.

O parâmetro pH apresentou valores médios entre 6,5 e 6,8, inserindo-se na categoria A1 em praticamente todos os anos do presente estudo, com exceção do ano de 2018 onde se inseriu na categoria A2 (VMR = 5,5 – 9,0).

Em todos os anos do presente estudo, a maioria das amostras de água analisadas ainda apresentavam cheiro depois de diluída 4 vezes (*i.e.* mais de 95 % dos resultados analíticos foram superiores a 4 fator de diluição, com exceção do ano de 2016 onde foram apenas cerca de 65 %) Assim, não sendo conhecido o valor exato do fator de diluição ao qual a amostra já não apresenta cheiro, considerou-se a sua classificação pelo menos na categoria A2, podendo mesmo inserir-se na categoria A3.

O parâmetro azoto amoniacal apresentou valores médios entre 0,3 e 0,5 mg/L, inserindo-se por isso na categoria A2 (VMR = 1,0 mg/L; VMA = 1,5 mg/L) em todos os anos do presente estudo.

Quanto aos parâmetros coliformes totais e coliformes fecais, estes demonstram ser os mais críticos, levando a uma classificação da água na categoria A3 nos anos de 2014 a 2016. De destacar a enorme variabilidade que estes parâmetros demonstram ter, evidenciando picos de contaminação microbiológica extrema. Nos restantes anos não é possível retirar conclusões, pois estes parâmetros deixaram de ser monitorizados.

Desta forma, a água bruta captada na albufeira de aproveitamento hidroelétrico de Penide é classificada pelo menos como A2 (nos anos de 2017, 2018 e 2019 até junho) e como A3 (nos anos de 2014, 2015 e 2016). De acordo com o definido no Decreto-Lei n.º 236/98, de 01 de agosto, uma água bruta do tipo A3, águas bastante poluídas, necessita de um processo de tratamento físico, químico de afinação e desinfecção a fim de a tornar apta para o consumo humano, verificando-se assim deste modo a adequabilidade do tratamento usado na ETA de Areias de Vilar.

5.2. Caracterização Qualitativa e Análise da Eficiência do Processo de Tratamento

De forma a possibilitar um estudo aprofundado das variações da qualidade da água ao longo do tempo e ao longo da linha de tratamento na ETA de Areias de Vilar, foram produzidos gráficos dos diversos parâmetros e calculada a ER destes, após cada etapa e no final de todo o processo de tratamento. Esta seção encontra-se dividida em quatro partes: i) Parâmetros organoléticos; ii) Parâmetros físico-químicos; iii) Parâmetros microbiológicos; iv) Eficiência de remoção. A análise dos vários parâmetros é feita individualmente ou conjuntamente caso haja interesse.

No Anexo VI (Tabela A7) encontram-se os valores médios anuais (e desvio padrão associado) para os diversos parâmetros nas várias fases do processo de tratamento.

5.2.1. Parâmetros Organoléticos

5.2.1.1. Cor

A água bruta apresentou valores de coloração maioritariamente entre 1 a 10 mg/L (escala Pt-Co), sendo que no período em estudo apenas em duas situações foram ultrapassados os limites de alerta (LA=10 mg/L Pt-Co) e limites críticos (LC=20 mg/L Pt-Co), onde foram atingidos valores de 11 mg/L Pt-Co e 21 mg/L Pt-Co respetivamente (Figura 12). Estes limites coincidem com os VMR e VMA definidos para as águas de classe A1 no Anexo I do DL n.º236/98 de 1 de agosto.

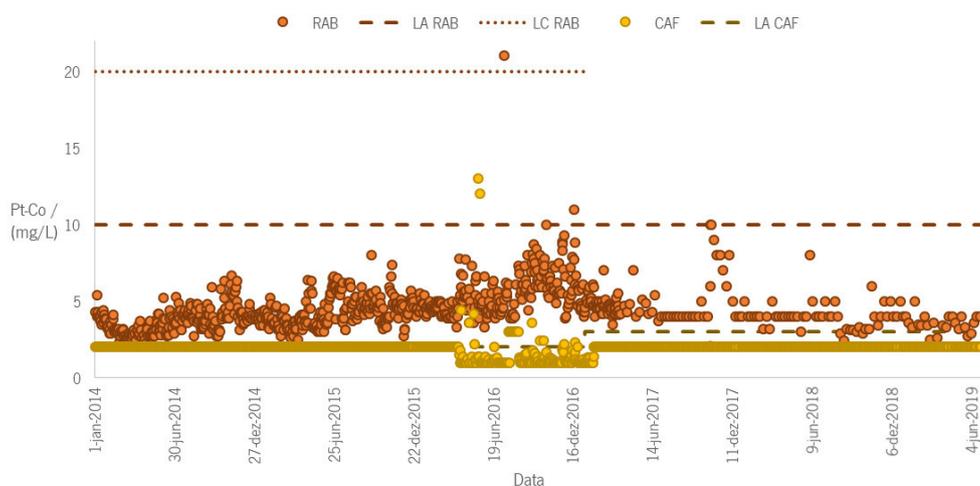


Figura 12: Variação da cor da água no RAB (reservatório de água bruta) e na CAF (cisterna de água filtrada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta; LC = limite crítico

Como esperado, a coloração da água diminuiu ao longo da linha de tratamento, sendo que na CAF a gama de valores variou sobretudo entre 1 e 2 mg/L Pt-Co (Figura 12). Contudo, no ano de 2016 ocorreram diversos casos onde o limite de alerta para esta etapa de tratamento (LA= 2 mg/L Pt-Co até janeiro de 2017; LA= 3 mg/L Pt-Co) foi superado (Figura 12), o que pode evidenciar alguma dificuldade do processo de pré-oxidação, coagulação-floculação e/ou filtração em remover a cor de forma eficaz. Este facto pode estar associado aos valores mais elevados deste parâmetro detetados durante o mesmo período no RAB.

A água tratada (em EE1) apresentou coloração inferior ao limite de alerta (LA= 2 mg/L Pt-Co até janeiro de 2017; LA= 3 mg/L Pt-Co), pelo que se optou por não representar estes valores na Figura 12. Como única exceção refere-se o caso onde foi atingido 5,6 mg/L Pt-Co (Anexo VI). Contudo, este valor ainda se encontra muito abaixo do estipulado pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, onde o valor paramétrico para a cor é 20 mg/L Pt-Co, e pela Organização Mundial da Saúde, onde o valor recomendado para a cor é que seja inferior ou igual a 15 mg/L Pt-Co (Prado, 2010).

5.2.1.2. Turvação

A turvação da água bruta apresentou alguma variação, mas os valores medidos foram maioritariamente inferiores a 8 NTU, não excedendo o limite de alerta (LA= 10 NTU) nem o limite crítico (LC= 50 NTU) (Figura 13). Apenas ocorreram casos pontuais onde a turvação foi superior a 10 NTU.

A turvação da água bruta é altamente influenciada pelo regime de chuvas de uma região e pela característica da cobertura vegetal da bacia hidrográfica, ou seja, períodos chuvosos e bacias desprotegidas elevam a turvação das massas de água (Castro, 2015). Efetivamente, é possível verificar que os picos de maior turvação na água bruta ocorrem sobretudo entre o outono e a primavera, coincidindo portanto com o final de cada ano e o início do seguinte (Figura 13), tendo sido mais notórios nos anos de 2014 e 2015 (Figura 13). Analisando dados climatológicos, através dos boletins climatológicos anuais de Portugal Continental disponibilizados pelo IPMA, é possível averiguar que os últimos anos têm-se caracterizado relativamente à precipitação como secos e extremamente secos. No período em estudo, podem ser destacadas as seguintes exceções (as quais coincidem com os picos de turvação): o ano de 2014 foi muito chuvoso (precipitação

superior ao valor médio, +216 mm), sendo considerado em termos de precipitação o pico mais alto dos últimos 30 anos; no ano de 2015 apenas os meses de setembro e outubro possuíram valores médios superiores de precipitação; a primavera de 2016 e 2018 foi chuvosa (destacando-se março de 2018).

A água decantada (no CAD) apresentou turvação variável, mas sempre inferior ao valor parametrizado para esta fase do tratamento (LA= 2,5 NTU até janeiro de 2017; LA= 4 NTU) (Figura 13). Após a etapa de filtração (CAF) e também na EE1 a turvação da água manteve-se constante, maioritariamente inferior a 0,2 NTU (limite de detecção do método analítico de quantificação utilizado). Os valores parametrizados para a CAF (LA= 0,2 NTU; LC= 0,5 NTU) foram excedidos apenas esporadicamente (Anexo 6), e para a água tratada (LA= 0,25 até janeiro de 2017; LA= 0,2 NTU; LC=1 NTU) apenas uma vez, atingindo 3,2 NTU em janeiro de 2018.

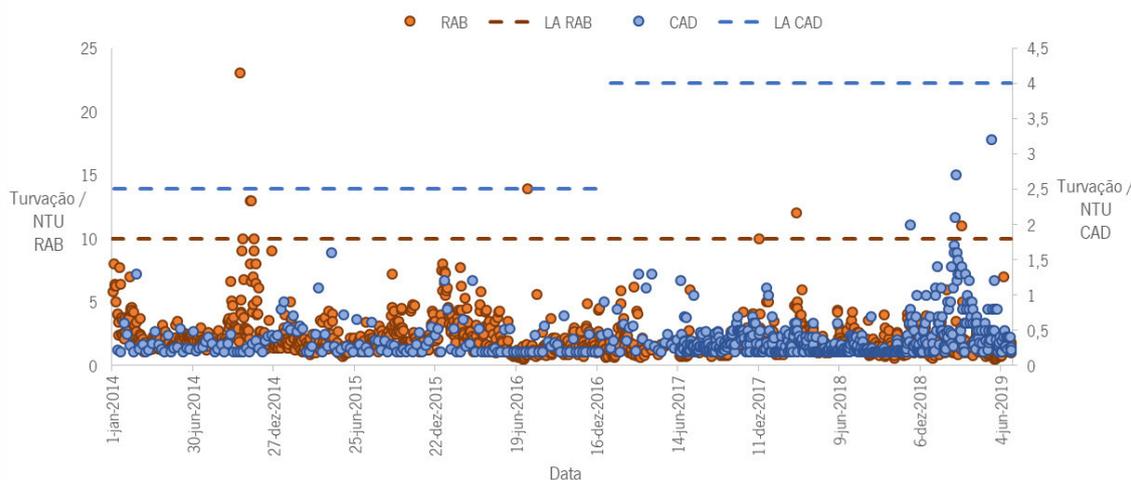


Figura 13: Variação da turvação da água no RAB (reservatório de água bruta) e no CAD (canal de água decantada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

5.2.1.3. Cheiro

Relativamente ao cheiro que a água detém na captação, este variou entre valores inferiores a 1 e superiores a 4 fator de diluição, sendo que os valores mais baixos apenas são observados no inverno e ocasionalmente na primavera e outono. No verão são sempre obtidos valores superiores a 4 fator de diluição. Os valores superiores a 4 fator de diluição prevalecem comparativamente aos restantes. O cheiro, assim como a temperatura, estão relacionados com a época sazonal.

À saída da ETA os valores obtidos são maioritariamente <1 fator de diluição, apresentando algumas situações onde o resultado obtido foi igual a 1 fator de diluição e um único caso onde o valor obtido foi de 2 fator de diluição. Ou seja, sempre inferior ao limite crítico estipulado (LC=3 fator de diluição), o qual coincide com o valor paramétrico estipulado pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro.

5.2.2. Parâmetros Físico-Químico

5.2.2.1. Temperatura e pH

A monitorização do pH e da temperatura é fundamental ao longo de toda a linha de tratamento, pois tem uma interação direta com praticamente todas as fases de tratamento, e igualmente na conservação das redes de distribuição (Castro, 2015).

Na ETA de Areias de Vilar, a temperatura da água (Figura 14), como esperado, acompanha a temperatura ambiental, e esta tendência mantém-se constante ao longo da linha de tratamento.

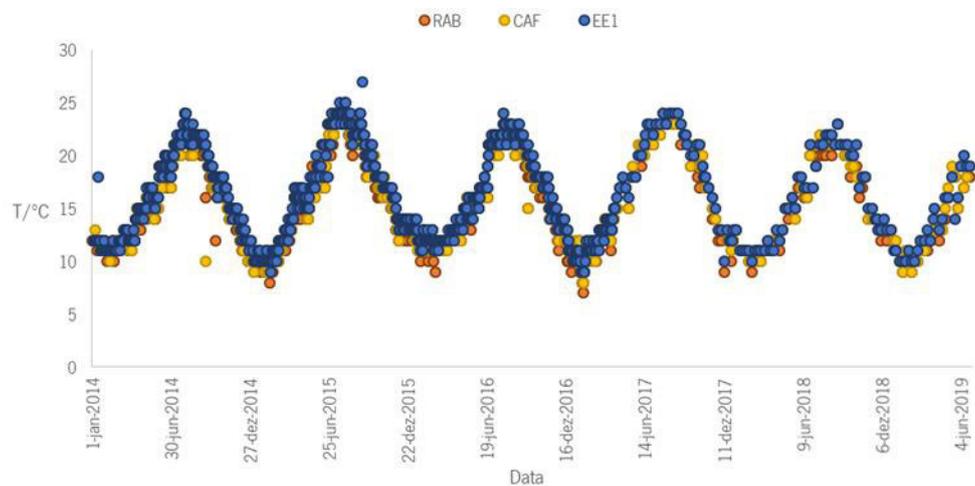


Figura 14: Variação da temperatura da água no RAB (reservatório de água bruta), na CAF (cisterna de água filtrada) e EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

Atendendo à estação do ano, são por vezes alcançadas temperaturas inferiores a 12 °C, que consequentemente podem reduzir a eficiência da desinfeção, provocar o aumento da viscosidade

da água e diminuir a velocidade de sedimentação e de filtração (Mendes & Oliveira, 2004). Por outro lado, a temperaturas mais elevadas torna-se mais difícil a manutenção da concentração de cloro residual devido à diminuição da sua estabilidade, situação que torna mais propício o crescimento microbiano, o aparecimento de problemas relacionados com a cor, sabor, odor da água e a corrosão das tubagens (APDA, 2012).

O valor de pH de uma água é influenciado pela sua origem e pela natureza dos terrenos atravessados. As águas superficiais podem, com a consequência da atividade biológica das algas, apresentar, em especial no verão, valores de pH anormalmente elevados. Contudo, na maior parte dos casos, a gama de variação dos valores do pH da água superficial varia entre 6,5 e 8,5 (Mendes & Oliveira 2004).

No Anexo VI, são apresentados os valores médios de pH obtidos nas diferentes fases de tratamento no período de 2014-2019. De forma geral, o pH demonstrou cariz constante no período de tempo em estudo, apresentando apenas pequenas flutuações no seu valor médio.

À entrada da ETA, no RAB, a água bruta apresenta um pH ligeiramente ácido, com valor médio de $6,7 \pm 0,1$ e tendo alcançado pontualmente valores inferiores a 6, sendo necessário proceder à correção do equilíbrio calco-carbónico. Após etapa de remineralização, é alcançado pH neutro. Este valor de pH é essencial para um eficiente processo de coagulação/floculação, assim como para a conservação das redes de distribuição, de modo a evitar a ocorrência de corrosão (pH baixo) ou incrustação (pH elevado) (Prado, 2010). Depois da etapa de coagulação, no CREPAC, o valor de pH mantém-se neutro e sobe depois ligeiramente, para $7,1 \pm 0,1$ na água decantada e na água filtrada.

A água destinada ao consumo humano deve apresentar pH entre 6,5 e 9,0. A maioria das águas potáveis têm um pH entre 6,5 e 8,5. No caso da ETA de Areias de Vilar, a água tratada tem atingido um pH médio de $7,8 \pm 0,1$, tendo alcançado um máximo de 8,2 e um mínimo de 7,2. Sabe-se também que o pH tem influência direta na desinfecção por cloro, sendo preferível manter valores inferiores a 8 na rede de distribuição. Recomendações internacionais referem que para um pH de 6-8 a concentração de cloro residual livre deve-se encontrar entre 0,4-0,5 mg/L, enquanto a um pH entre 8-9 o valor de desinfetante deve ser aumentado para 0,6 mg/L, e a um pH superior a 9, a desinfecção por cloro pode ser ineficaz (Quintela, 2016).

5.2.2.2. Condutividade, Dureza Total, Cálcio, Magnésio e Manganês

A água bruta possui condutividade muito inferior a $1\ 000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (a $20\ ^\circ\text{C}$), valor este que corresponde ao VMR para todas as classes de qualidade da água de acordo com o Anexo I do DL n.º 236/98 de 1 agosto. Quanto maior for o valor de condutividade, maior a quantidade de sais minerais dissolvidos na água, estando muitas vezes associado a teores elevados de sólidos dissolvidos totais. Apesar de apresentar valores de condutividade baixos, é possível verificar que no RAB este parâmetro apresenta alguma variação ao longo do tempo, ocorrendo picos que podem ser indicadores de episódios de poluição (Figura 15).

A condutividade permite acompanhar a evolução do processo de remineralização da água ao longo do processo de tratamento. Na ETA de Areias de Vilar, a condutividade reflete de forma bastante evidente uma primeira fase de remineralização, que ocorre após a pré-oxidação através da adição conjunta de leite de cal e dióxido de carbono, elevando o valor da condutividade da água bruta de $41\pm 8\ \mu\text{S}/\text{cm}$ para $146\pm 9\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (até dezembro de 2017) e $95\pm 8\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (atual) (Figura 15). Após a desinfecção ocorre a adição de água de cal para ajuste de pH, o que leva a novo aumento de condutividade, para valor médio de $166\pm 10\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (até dezembro de 2017) e $113\pm 8\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (atual) (Figura 15). O Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, define como valor paramétrico para água destinada a consumo humano o valor máximo de $2\ 500\ \mu\text{S}/\text{cm}$. Em dezembro de 2017 é evidente a diminuição da condutividade da água no processo de tratamento, devido à diminuição da taxa de tratamento na remineralização.

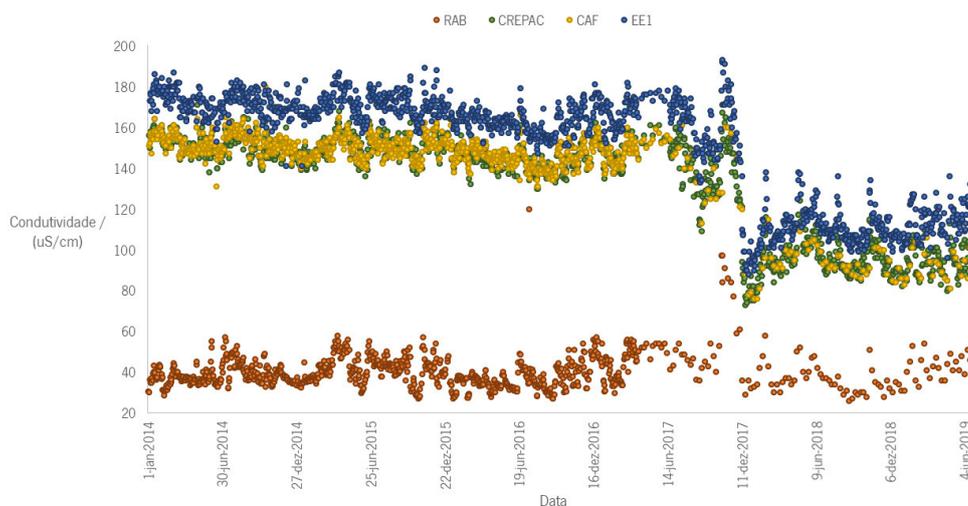


Figura 15: Variação da condutividade (a $20\ ^\circ\text{C}$) da água no RAB (reservatório de água bruta), no CREPAC (canal de repartição de caudais), na CAF (cisterna de água filtrada) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

A dureza das águas naturais varia notavelmente com a localização geográfica, sendo em geral a dureza das águas superficiais menor do que a das águas subterrâneas. Desta forma, a dureza de uma água reflete a natureza das formações geológicas com as quais ela esteve em contacto (Sousa, 2001) Uma água dura está associada a zonas onde os solos são de natureza calcária, e uma água macia a zonas de natureza granítica (APDA, 2012). Pela análise do Figura 16 é possível verificar que a água captada no rio Cávado é uma água macia, dado as concentrações serem inferiores a 60 mg/L em CaCO_3 .

Uma água destinada ao consumo humano deve ser uma água equilibrada, e tendo em conta a importância deste parâmetro na proteção da saúde e das infraestruturas, é aconselhável que a dureza de uma água de consumo se situe entre 150 a 500 mg/L em CaCO_3 . Uma água dura constitui uma fonte significativa de cálcio e magnésio, o que tem vantagens nutricionais para o Homem (APDA, 2012).

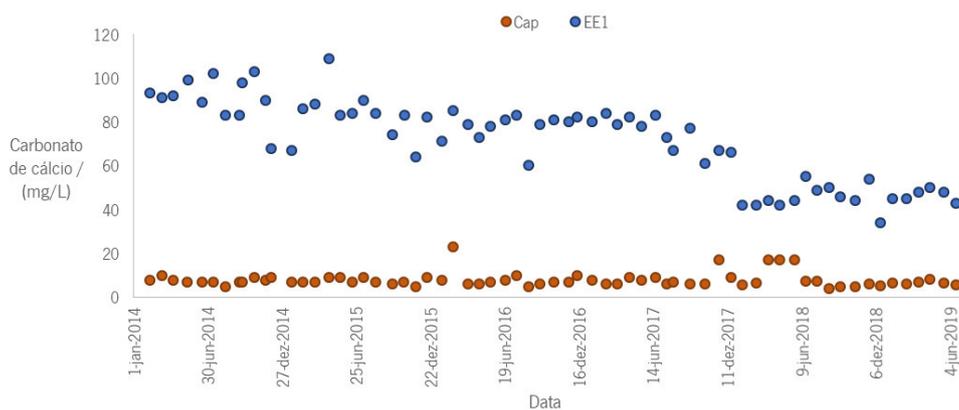


Figura 16: Variação da dureza da água, expressa em concentração de carbonato de cálcio, na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

Pela análise da Figura 16 verifica-se que a dureza da água tratada (EE1) diminuiu acentuadamente no final de 2017 face à decisão de baixar a taxa de remineralização, tratando-se de uma metodologia de gestão económica da empresa.

A água tratada na ETA é classificada moderadamente dura (60-120 mg/L CaCO_3) entre janeiro de 2014 e dezembro de 2017, passando a ser considerada uma água macia (< 60 mg/L CaCO_3) de janeiro de 2018 até ao presente.

Como esperado, a concentração de cálcio na água tratada tem acompanhada a descida da concentração de carbonato de cálcio (Figura A1 – Anexo VII), passando de uma concentração média de 31 ± 5 mg/L (até dezembro de 2017) para uma média de 17 ± 2 mg/L (atual). O limite de alerta para a água tratada era de 100 mg/L até dezembro de 2016 (retirado do gráfico de forma a facilitar leitura). Atualmente não existe nenhum limite estipulado para este parâmetro.

Por outro lado, a concentração de magnésio manteve-se estável, com uma concentração média de $0,85 \pm 0,22$ mg/L, contudo as suas concentrações já eram baixas (Figura A2 – Anexo VII). O limite de alerta para a água tratada era de 50 mg/L até dezembro de 2016 (retirado do gráfico de forma a facilitar leitura). Atualmente não existe nenhum limite estipulado para este parâmetro.

Na (Figura A3 - Anexo VII) tem-se a variação da concentração de manganês, onde tem-se que no RAB nunca superou o limite de alerta (LA = 100 μ g/L, retirado do gráfico de forma a facilitar leitura), tendo concentração média compreendida entre 8 e 22 μ g/L. A concentração de manganês na água tratada é baixa (<0,3 μ g/L), sendo bastante inferior ao limites definidos (LA= 30 μ g/L e LC= 50 μ g/L).

5.2.2.3. Alumínio

O alumínio é um metal abundante na superfície terrestre, mas devido à sua baixa solubilidade na água é raro afetar os sistemas de abastecimento de água. A maioria das águas naturais contém cerca de 0,1 a 9,0 μ g/L de alumínio. Contudo, a concentração de alumínio nas águas superficiais varia consoante as características físico-químicas e geológicas locais. Quando o pH da água é próximo de 7, as concentrações típicas de alumínio variam entre 1 a 50 μ g/L, já em condições ácidas e/ou com grandes teores de matéria orgânica as concentrações de alumínio podem atingir valores entre 500 e 1 000 μ g/L (Gomes, 2016).

No caso da água captada no rio Cávado, com pH médio de 6,7, as concentrações de alumínio variam maioritariamente entre os 50 e os 500 μ g/L, ocorrendo casos esporádicos onde essa concentração é inferior e superior. Nos casos onde é superior, o valor máximo registado no período em estudo foi de 2 300 μ g/L (Figura 17A), podendo estar associado à atividade industrial a montante da captação.

O limite de alerta foi alterado em janeiro de 2017, passando de 250 para 500 μ g/L.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

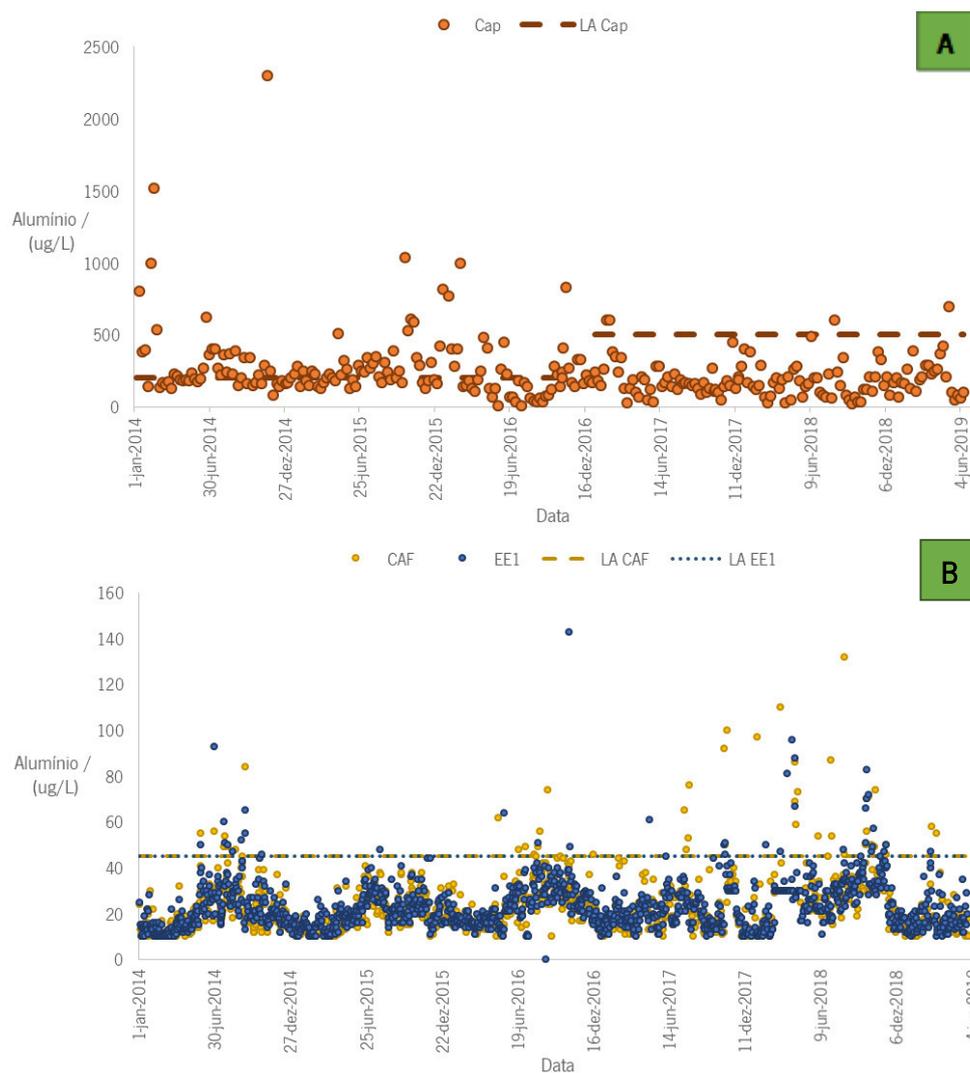


Figura 17: Variação da concentração de alumínio na água na captação (Cap) (A), na CAF (cisterna de água filtrada) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada) (B), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

LA = limite de alerta

No processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar, o alumínio é um dos parâmetros que mais vezes ultrapassa os limites de alerta estabelecido internamente na empresa. Esses alertas ocorrem sobretudo na filtração (LA= 50 $\mu\text{g/L}$) e na água tratada (LA= 50 $\mu\text{g/L}$) (Figura 17B). Contudo, salienta-se que na água tratada nunca foi atingindo o limite crítico (LC= 200 $\mu\text{g/L}$), coincidente com o valor paramétrico estipulado na Parte III do Anexo I do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. Através da análise da Figura 20B, denota-se que existe uma tendência para haver picos anuais (no período de verão) de alumínio no processo de tratamento.

A concentração de alumínio na água para consumo humano depende da sua ocorrência nas origens de água, mas a sua principal fonte é a utilização de sulfato de alumínio como coagulante no tratamento de água. No caso da ETA de Areias de Vilar, o coagulante utilizado trata-se de um policlorosulfato básico de alumínio, e os casos onde são ultrapassados os LA ao longo do processo de tratamento devem-se sobretudo ao processo de coagulação, nomeadamente à taxa de doseamento de coagulante e estabilidade do pH. Assim, para minimizar os níveis residuais de alumínio na água tratada, o processo de coagulação deve ser otimizado e o seu controlo deve ser efetuado no tratamento, à saída da ETA e na rede de distribuição. Quando os níveis residuais são elevados, o alumínio pode precipitar no sistema de distribuição, pelo que alterações de escoamento podem originar a ressuspensão dos sedimentos e um aumento nos níveis de alumínio na água distribuída, podendo originar problemas de cor e turvação (APDA, 2012). Segundo alguns estudos a exposição a elevadas concentrações de alumínio podem desencadear a doença de Alzheimer, enquanto outros não encontram evidências que isso aconteça (Prado, 2010). Segundo a Organização Mundial de Saúde, o teor de alumínio acima do qual pode haver efeitos na saúde é de 900 µg/L (APDA, 2012).

5.2.2.4. Azoto Amoniacal, Nitratos e Nitritos

Examinando a Figura 18 referente à concentração de azoto amoniacal no RAB, denota-se que de forma geral os valores obtidos encontram-se abaixo do limite de alerta (LA =1 mg/L), ocorrendo unicamente em outubro de 2017 um pico de contaminação deste constituinte, ultrapassando o limite de alerta e mesmo o limite crítico (LC = 1,5 mg/L). Estes limites coincidem com o VMR e o VMA, respetivamente, referidos no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto para a classe de qualidade A2. Sabe-se que a produção intensiva de pecuária pode potenciar concentrações de amónio nas águas superficiais. Desta forma, a contaminação por amónio pode indicar poluição por adubos, esgotos ou resíduos animais (APDA, 2012).

Os valores deste parâmetro obtidos na CAF e na EE1 foram sempre inferiores ao limite de deteção do método de analítico de quantificação utilizado (no caso do CAF <0,025 mg/L, e no caso da EE1 <0,04 mg/L até janeiro de 2017 e <0,025 mg/L), pelo que foram sempre inferiores ao limite de alerta (LA do CAF e EE1 = 0,1 mg/L) e ao limite crítico (LC EE1 = 0,5 mg/L, coincidente com o valor indicado na Parte III do Anexo I do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

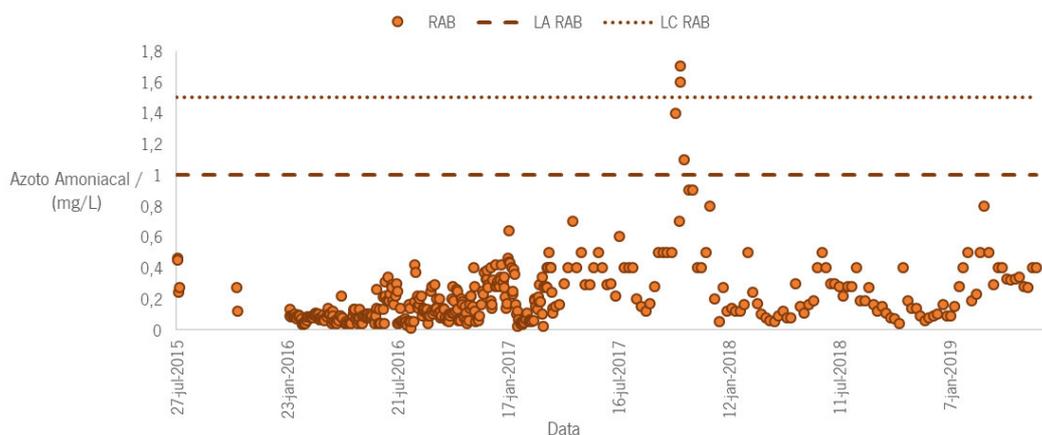


Figura 18: Variação da concentração de azoto amoniacal (NH_4) na água no RAB (reservatório de água bruta) desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta; LC = limite crítico.

Os nitratos (NO_3) são dos compostos azotados mais importantes, pois são essenciais na formação da biomassa de plantas e animais, mas por outro lado constituem um contaminante relevante nas águas superficiais e subterrâneas utilizadas para produção de água para consumo humano. As concentrações de nitratos em águas superficiais, assim como em águas subterrâneas, aumentam em função da quantidade de fertilizantes azotados aplicados ao solo e dos efluentes e resíduos (industriais, agrícolas e domésticos) descarregados (APDA, 2012). Segundo dados do Relatório elaborado no âmbito da Diretiva Nitratos, a concentração média anual de nitratos em Portugal Continental é inferior a 25 mg/L no caso dos rios e inferior a 10 mg/L no caso das albufeiras.

Os nitritos (NO_2) são produto da oxidação do amónio ou da redução dos nitratos. Na água, em condições de oxidação normais, a conversão dos nitritos em nitratos é quase imediata. A sua presença na água deverá, por isso ser pontual e temporária. Qualquer acumulação reflete a existência de processos inibitórios da formação dos nitratos. As suas concentrações são, em regra, relativamente reduzidas, raramente excedendo, nas águas superficiais, valores de 1 mg/L (Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas).

Os nitratos não são por si só nocivos nem tóxicos. No entanto, as bactérias que se encontram no nosso estômago e intestinos, transformam os nitratos em nitritos e estes são prejudiciais para a saúde, pois reduzem a capacidade do sangue transportar o oxigénio necessário ao organismo, causando nos recém-nascidos a denominada doença azul (APDA, 2012).

Na água bruta captada no rio Cávado, as concentrações de nitratos foram sempre inferiores ao limite de alerta (LA= 5 mg/L), bem como ao VMR (25 mg/L) e VMA (50 mg/L) referidos para a

classe de qualidade A1 no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto. Na água filtrada a concentração média de nitratos foi de $4,0 \pm 1,2$ mg/L (Anexo VI), abaixo do limite de alerta para a etapa de filtração (LA= 10 mg/L), exceto em novembro de 2017, onde foram alcançadas concentrações de 13 mg/L.. Relativamente à água tratada na saída da ETA, os valores obtidos também nunca ultrapassaram os limites de alerta (LA= 10 mg/L) (Figura 19) nem o valor paramétrico definido na Parte II do Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro. Por vezes os valores de nitratos na EE1 foram superiores aos valores observados na captação, possivelmente devido a oxidação do azoto amoniacal a nitrato ao longo da linha de tratamento.

Os nitritos também nunca ultrapassaram os limites de alerta quer na captação (LA= 0,50 mg/L), quer na EE1 (LC= 0,50 mg/L), correspondendo ao valor paramétrico definido na Parte II do Decreto-Lei n.º 152/2017 de 7 de dezembro. Em ambos os casos as concentrações de nitritos foram sempre inferiores a 0,10 mg/L.

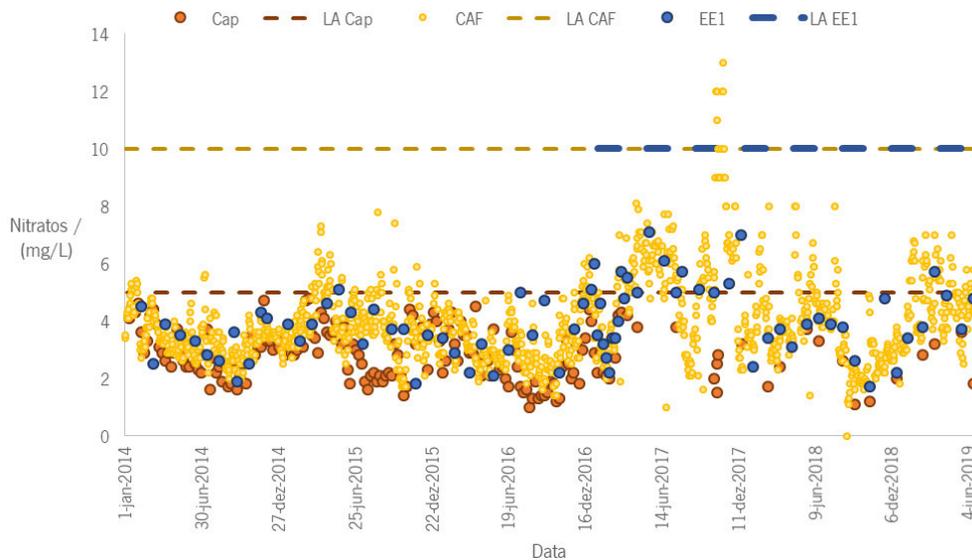


Figura 19: Variação da concentração de nitratos na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

5.2.2.5. Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares

O petróleo, óleos minerais e outros produtos associados à indústria petrolífera são misturas complexas de hidrocarbonetos, dentro dos quais se destacam os Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (HAP). Estes são poluentes orgânicos, classificados pela organização Mundial de Saúde (OMS) como carcinogénicos, mutagénicos e desreguladores endócrinos. Só muito ocasionalmente poderá ocorrer uma contaminação localizada da fonte natural de água com estes compostos. Contudo, quando presentes nos cursos de água constituem um grave problema ambiental e de Saúde Pública, pois os processos convencionais de tratamento de água podem não ser eficazes na sua remoção. O carvão ativado é o adsorvente mais utilizado no processo de remoção dos HAP (José, 2016).

A concentração total de HPA obtida na captação do rio Cávado foi sempre inferior a $<0,061 \mu\text{g/L}$, nunca ultrapassando o limite de alerta (LA= $0,2 \mu\text{g/L}$ até setembro de 2016; LA= $0,1 \mu\text{g/L}$) nem o VMA referido para águas da classe A1 no Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de agosto (*i.e.* $0,2 \mu\text{g/L}$). As concentrações destes compostos à saída da ETA também apresentaram concentrações $<0,041 \mu\text{g/L}$, e nunca ultrapassando o limite de alerta (LA= $0,1 \mu\text{g/L}$, igual ao valor paramétrico definido na Parte II do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro).

Destaca-se ainda a concentração do HAP benzo(a)pireno, que possui um valor paramétrico estipulado pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, de $0,010 \mu\text{g/L}$ para água destinada a consumo humano. À saída da ETA, entre 2014 e 2018 foram obtidas para este parâmetro concentrações inferiores a $0,0025 \mu\text{g/L}$ e em 2019 concentrações inferiores a $0,005 \mu\text{g/L}$.

5.2.2.6. Matéria Orgânica

5.2.2.6.1. Oxidabilidade

A oxidabilidade permite determinar de forma indireta o teor de matéria oxidável presente numa água, sendo expressa em concentração de oxigénio consumido. Desta forma, representa uma estimativa da matéria orgânica presente na água, assim como da matéria inorgânica oxidável nas condições de teste. A redução dos teores de matéria oxidável pode ser conseguida através do processo de oxidação com ozono seguido da coagulação/floculação, decantação e filtração (APDA,

2012). Verifica-se que a oxidabilidade tem-se mantido relativamente constante ao longo dos anos, $1,7 \pm 0,4$ mg/L O₂ entre 2014 e 2017, com tendência a diminuir na água bruta desde 2018, $<1,5$ mg/L O₂. Na água tratada a oxidabilidade foi sempre inferior a $<1,0$ mg/L O₂ até dezembro de 2017 e $<1,5$ mg/L O₂ (Anexo VI). Em nenhuma das estruturas operacionais os limites de alerta foram ultrapassados nem o valor paramétrico estipulado pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (5 mg/L).

5.2.2.6.2. UV 254

O UV 254 é um parâmetro de qualidade da água que fornece uma medição rápida da matéria orgânica presente na água, baseando-se na quantificação da luz ultravioleta que é absorvida pelos compostos orgânicos, em particular aqueles que contêm anéis aromáticos ou ligações insaturadas. Na Figura 20 são apresentados os resultados obtidos para este parâmetro, representando portanto uma monitorização da matéria orgânica ao longo da linha de tratamento da ETA de Areias de Vilar.

A matéria orgânica vai diminuindo ao longo do processo de tratamento, (Anexo VI), desde valores médios na ordem dos $0,029 \pm 0,007$ /cm no RAB até valores na ordem dos $0,008 \pm 0,005$ /cm na água tratada. Por vezes o limite de alerta definido para o RAB e para a CAF (LA= 0,050/cm) foi ultrapassado, assim como o limite de alerta definido para a EE1 (LA= 0,02/cm), destacando-se neste último caso os anos de 2016 e 2017.

Embora este método, UV 254, de quantificação de matéria orgânica seja prático e rápido, apresenta inconvenientes como não permitir comparação com os valores de matéria orgânica referidos nos Decreto-Lei, uma vez que os métodos geralmente usados para tal são a CQO, a CBO e o COT. Contudo, esses testes são mais demorados e caros, tornando-se impraticáveis para controlo de processos.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

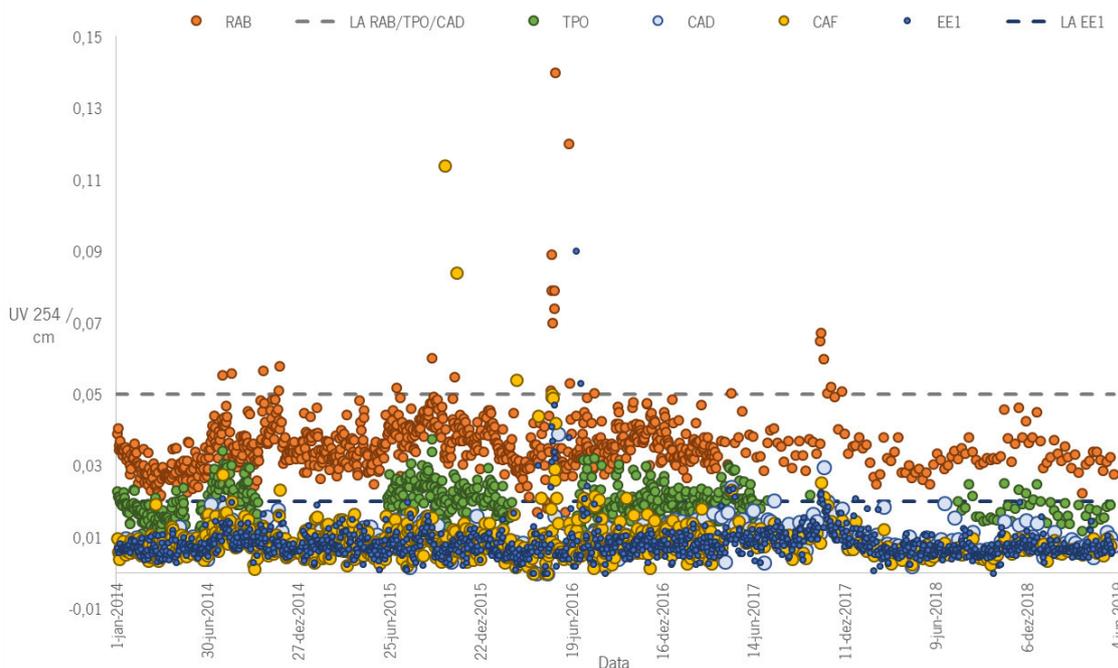


Figura 20: Variação da concentração de matéria orgânica (UV 254 nm) na água ao longo da linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB = reservatório de água bruta; TPO = torre de pré-oxidação; CAD = canal de água decantada; CAF = cisterna de água filtrada; EE1 = estação elevatória 1, água tratada; LA = limite de alerta)

5.2.3. Parâmetros Microbiológicos

5.2.3.1. Indicadores de Contaminação Fecal: Bactérias Coliformes, *E.coli*, Enterococos e *Clostridium perfringens*

Na Figura 21A observa-se que o teor de bactérias coliformes totais na água bruta ultrapassa por várias vezes o limite de alerta (LA= 5 000 N/100mL até janeiro de 2017; LA= 9 500 N/100 mL) o que só por si não indica contaminação fecal. Contudo, analisando a Figura 23A, onde se tem o teor de *E. coli*, é possível verificar que esta também ultrapassa diversas vezes o limite de alerta (LA= 1 000 N/100 mL). Logo, é presumível que exista poluição de origem fecal no rio Cávado. Por outro lado, o teor de Enterococos na água bruta nunca ultrapassou o limite de alerta (LA= 1000 N/100 mL até dezembro de 2016; LA= 500 N/100 mL) (Figura 22).

Após a etapa de pré-oxidação com ozono (TPO), verifica-se uma redução acentuada da carga microbiana, sendo que para *E. coli* e Enterococos nunca foram ultrapassados os limites de alerta para esta etapa de tratamento (LA= 10 N/100 mL) (Figuras 23B e 22), e no caso das bactérias

coliformes apenas foi superado uma vez o limite de alerta (LA= 65 N/100 mL até dezembro de 2016; LA= 35 N/100 mL) (Figura 21B).

A etapa de filtração é capaz de reduzir totalmente a carga microbiana de Enterococos, não tendo sido detetados nenhuma vez na CAF. Bactérias da espécie *E. coli* apenas foram detetada em duas situações, não ultrapassando o limite de alerta definido para a etapa de filtração (LA= 2 N/100 mL) (Figura 23B). O facto das bactérias coliformes se multiplicarem nos filtros é evidenciado na Figura 21B, onde a concentração de coliformes na CAF ultrapassou diversas vezes o limite de alerta (LA= 35 N/100 mL até dezembro de 2016; LA= 20 N/100 mL). De forma a evitar esta situação é recomendada lavagem de filtros de forma frequente. Este procedimento na ETA de Areias de Vilar já é feito com frequência, variável dependente do caudal e qualidade de água a tratar (p.ex. no mês de julho de 2019, com um caudal médio de água a tratar de 96 m³/d, cada filtro é lavado em média de 29 em 29 horas).

Com a desinfecção é pretendido anular por completo a carga microbiana destes parâmetros. Apenas os Enterococos foram totalmente eliminados, nunca sendo detetados na água tratada (EE1). A *E. coli* foi detetada em duas situações e as bactérias coliformes em três situações.

A monitorização de *Clostridium perfringens* apenas é realizada no RAB e na EE1, sendo que na água bruta o seu teor apresenta maioritariamente valores inferiores a 3 000 N/100 mL e apenas ultrapassou em duas situações os limites (LA= 6 500 N/100 mL até dezembro de 2016; LA= 5 000 N/100 mL). Na água tratada foi detetado em duas ocasiões (Figura 24).

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

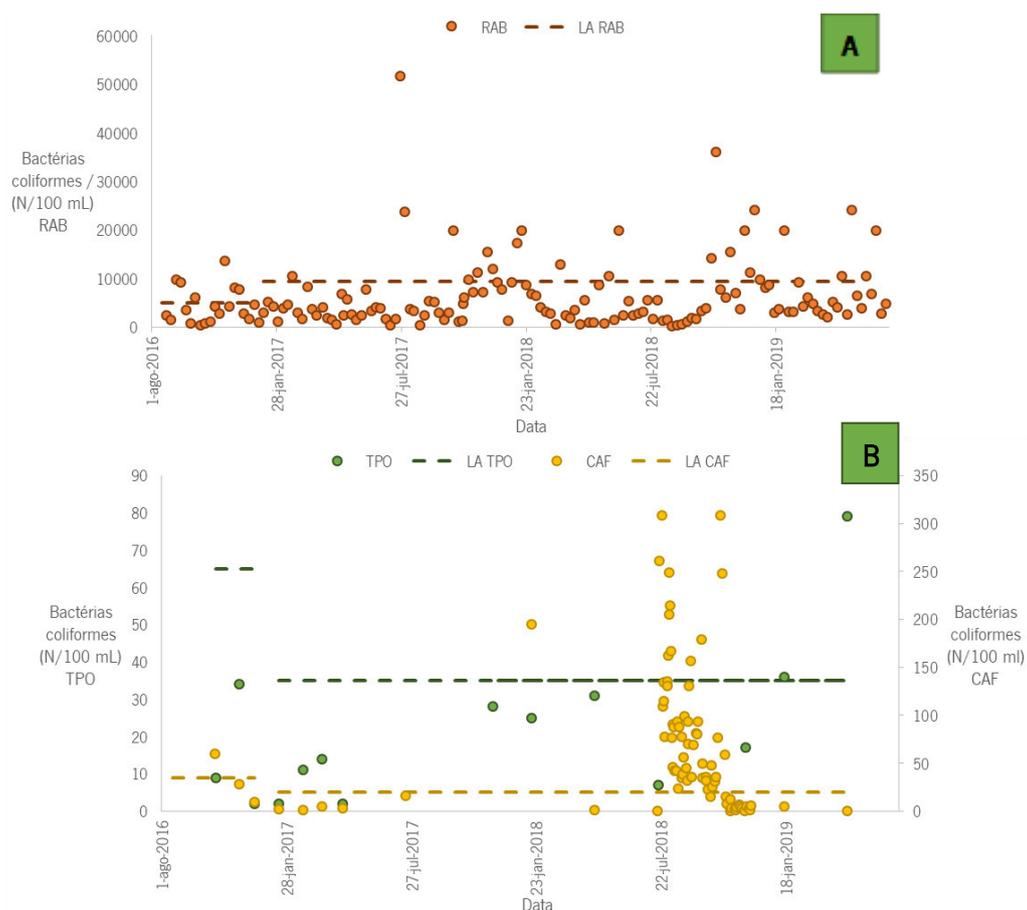


Figura 21: Variação do teor de bactérias coliformes na água no RAB (reservatório de água bruta) (A), no TPO (torre de pré-oxidação) e na CAF (cisterna de água filtrada) (B), desde agosto de 2016 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

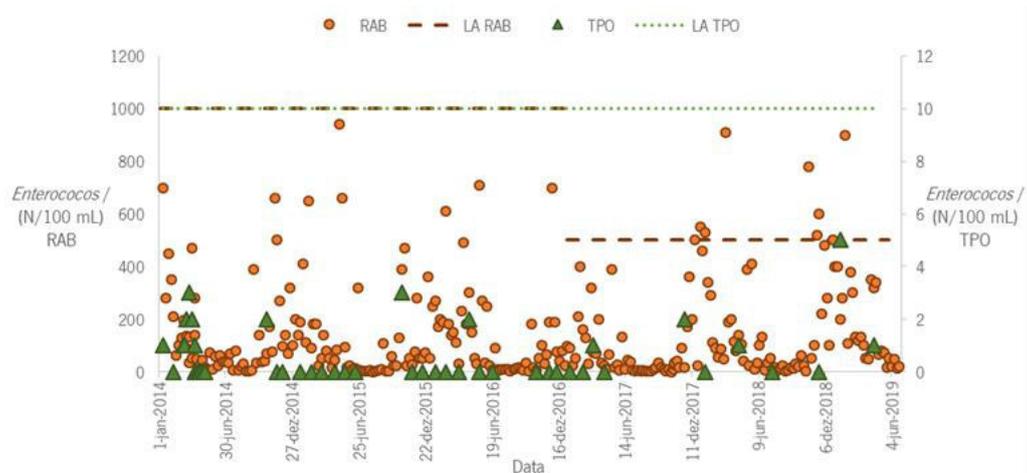


Figura 22: Variação da concentração de Enterococcos na água no RAB (reservatório de água bruta) e no TPO (torre de pré-oxidação), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

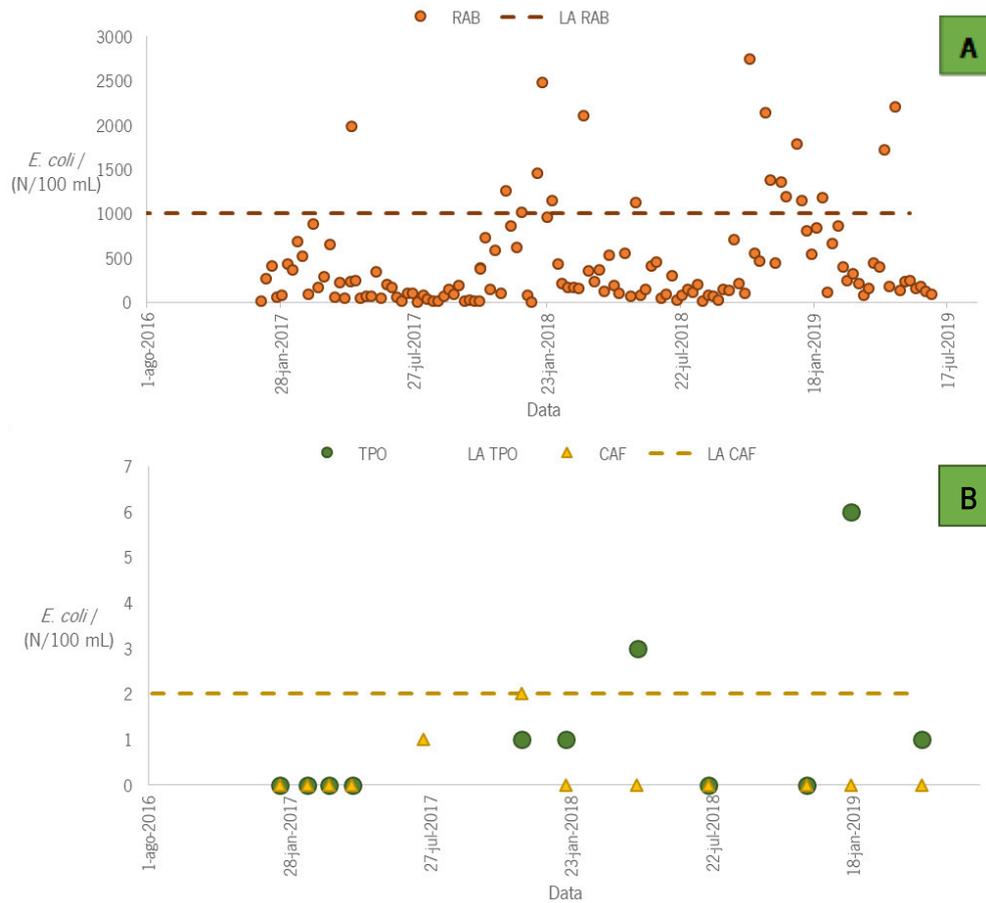


Figura 23: Variação da concentração de *E. coli* na água no RAB (reservatório de água bruta) (A), no TPO (torre de pré-oxidação) e na CAF (cisterna de água filtrada) (B), desde agosto de 2016 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

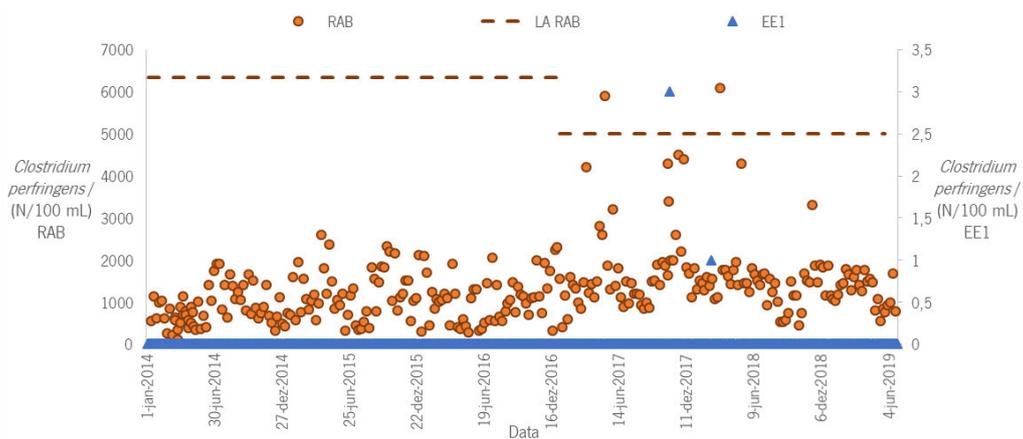


Figura 24: Variação da concentração de *Clostridium perfringens* na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

5.2.3.2. *Cryptosporidium e Giardia*

Na ETA de Areias de Vilar, a presença de cistos destes parasitas é monitorizada na captação e na EE1. O número de oocistos de *Cryptosporidium* na captação varia sobretudo entre 0 e 8 oocistos/10L, tendo ocorrido três situações onde ultrapassaram o limite de alerta (LA= 10 oocistos/10L) (Figura 25). Na EE1 foi detetada uma vez dois oocistos/10L.

Na Figura 26, apresentam-se os resultados da quantificação de cistos de *Giardia*, que nunca atingiu os limites de alerta na captação (LA= 359 cistos/10L até dezembro de 2016; LA= 175 cistos/10L). Na EE1 foi detetado por duas vezes 1 cisto/10L.

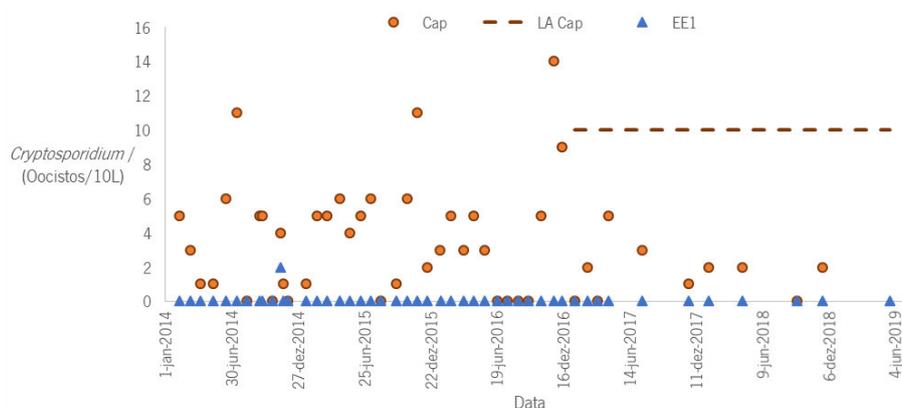


Figura 25: Variação do número de oocistos de *Cryptosporidium* na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

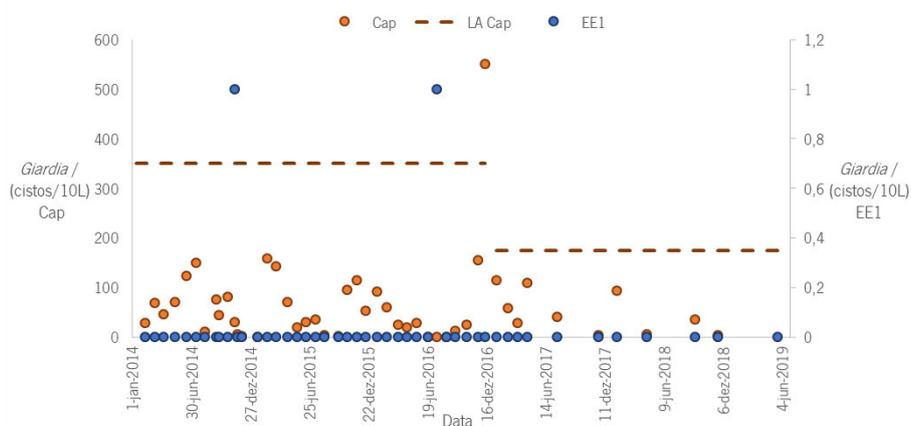


Figura 26: Variação do número de cistos de *Giardia* na água na captação (Cap) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019. LA = limite de alerta.

5.2.3.3. Fitoplâncton e Cianobactérias

O fitoplâncton é essencial no ecossistema aquático, quer para produção da matéria orgânica ou oxigénio. Porém, o aparecimento de algumas espécies de fitoplâncton são um sinal evidente de eutrofização. As cianobactérias, vulgarmente conhecidas como algas azuis, são microrganismos representativos de um estado avançado de eutrofização em ecossistemas aquáticos superficiais. Estes microrganismos têm a capacidade de se tornarem dominantes e produzirem cianotoxinas. As cianotoxinas são o grupo de microcistinas mais comuns, sendo também as mais tóxicas e capazes de causarem gosto e odor desagradável à água. Representam um risco para a Saúde Pública, através da ingestão de água contaminada ou por contacto, ou ainda pelo consumo de pescado contaminado (Prado, 2010).

O fitoplâncton total e as cianobactérias são alvo de monitorização na linha de tratamento da ETA, nomeadamente no RAB e na EE1. No RAB não existe um limite de alerta para a quantificação de fitoplâncton total, sendo esta bastante variável ao longo do tempo (Figura 27). Contudo, os picos de maior concentração de algas ocorrem nos períodos de calor. Na água tratada a quantidade de fitoplâncton varia sobretudo entre 0 e 30 n.océl./mL, ocorrendo três casos onde ultrapassa o limite de alerta (LA= 50 n.o.cél./mL), chegando a atingir 166 n.o.cél./mL.

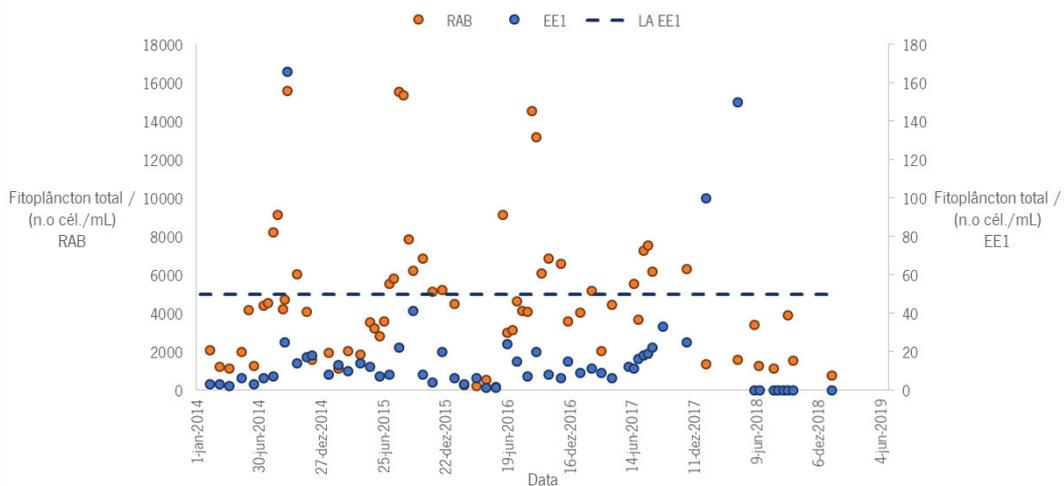


Figura 27: Variação da quantidade de fitoplâncton total na água na linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB = reservatório de água bruta; EE1 = estação elevatória 1, água tratada).

Quando a água bruta apresenta possível eutrofização é necessário monitorizar a presença de cianobactérias. Na Figura A4 (Anexo VII) é possível verificar que entre 2017 e 2018 ocorreu no rio Cávado, junto à captação da ETA, um aumento significativo de cianobactérias. Contudo o processo de tratamento mostrou-se eficiente na remoção das cianobactérias, pois durante o período de estudo na água tratada nunca foram detetadas.

5.2.4. Eficiência de Remoção

Foram efetuados cálculos para determinar a ER global dos vários parâmetros monitorizados na ETA, tendo sido esta analisada por ano de estudo e por estação do ano. Paralelamente foram também efetuados os mesmos cálculos por etapa de tratamento (ER parciais) (Tabela 7). Ressalva-se que os valores de ER devem ser interpretados com cuidado, uma vez que maiores taxas de remoção poderão estar associadas a valores mais elevados dos parâmetros na água bruta, não se traduzindo de forma direta numa melhor qualidade da água tratada na ETA.

No período temporal em estudo, a ER global da cor variou aproximadamente entre 40 e 69 %, tendo apresentado a maior taxa de remoção (68,5%) no ano de 2016, possivelmente associada a valores de entrada mais elevados para este parâmetro. A ER global da cor também varia consoante a estação do ano, sendo superior nos meses de calor, pois a coloração da água bruta também é superior nesses períodos. De salientar que os valores apresentados são conservadores pois referem-se ao pior cenário, ou seja, onde a maioria dos valores da coloração da água tratada são iguais ao limite de quantificação do método analítico. Como seria de esperar, verifica-se que a remoção da cor se processa principalmente entre o RAB e a CAF (Tabela 7).

A ER global da turvação demonstra ser constante ao longo dos anos e das estações do ano, com uma média de remoção de 87 ± 6 %. Destaca-se que a decantação tem efeito decisivo na redução da turvação, assumindo a filtração um processo de afinação (Tabela 7).

Relativamente aos parâmetros físico-químicos, a ER global do manganês foi calculada apenas a partir do ano de 2017, altura a partir da qual este parâmetro foi monitorizado em simultâneo no RAB e na EE1. Verificou-se que até junho de 2019 a ER deste parâmetro foi sempre superior a 80 %. Considerando a variação sazonal, obtiveram-se valores menores no inverno (Tabela 7), contudo esse valor pode estar associado ao baixo número de dados utilizados para cálculo da ER deste parâmetro.

A elevada variabilidade das concentrações de alumínio, já referida na secção 7.2.2.4., traduz-se em valores elevados de desvio padrão associados ao valor médio da ER deste parâmetro (principalmente entre 2016 e 2018), o que dificulta uma análise mais conclusiva sobre estes valores. O período de verão demonstra ser o mais crítico, com uma ER de 74,7 %, cerca de 10% inferior às restantes estações (Tabela 7). A remoção do alumínio ocorre essencialmente até à filtração.

A ER global de azoto amoniacal varia entre os 80 % e os 93 %, tendo sido menor no ano de 2018 e maior no ano de 2019. Os anos de 2017 e 2018 foram mais inconstantes do que 2016 e 2019. Em termos sazonais, a ER é maior na primavera e verão, 89 % e 84 % respetivamente. A remoção do azoto amoniacal é conseguida na sua maioria até à etapa da filtração (Tabela 7).

A ER da matéria orgânica (UV 254) varia entre os 75 % e os 80 %, tendo o ano de 2015 apresentado menor ER e o ano de 2018 maior ER. O ano que teve maior variabilidade na ER foi o ano de 2016. Observando as estações do ano conclui-se que existe menor ER no outono e maior ER no inverno. Analisando a ER por etapa de tratamento, conclui-se que a pré-oxidação em conjunto com a coagulação/floculação e a decantação são decisivos na redução da matéria orgânica, funcionando a filtração como afinação. A sazonalidade é semelhante à verificada na ER global do processo. (Tabela 7).

Relativamente aos parâmetros microbiológicos, analisando o processo de tratamento de forma global, é possível concluir que este é eficaz na eliminação de bactérias coliformes, *E. coli* e Enterococos, alcançando-se ER de 100 % em todos os anos e estações do ano. Analisando o processo de tratamento por etapa é possível verificar que a carga microbiana relativa a estes parâmetros vai sendo reduzida, sendo completamente anulada na EE1. A etapa de pré-oxidação com ozono é responsável por eliminar cerca de 99 % das bactérias coliformes, tendo sido menos eficiente no período de verão (98 %). Na etapa de filtração, excetuando o ano de 2019 e o inverno, os valores apresentados são sempre negativos, o que significa que ocorreu multiplicação dos mesmos e não remoção, tendo-se verificado que este aumento é muito maior no período da primavera. Com a desinfecção são depois completamente eliminados (Tabela 7). A ER quer de *E. coli*, quer de Enterococos é constante ao longo dos anos e estações do ano e sempre superior a 99 % após pré-oxidação com ozono. São completamente eliminados após filtração (Tabela 7).

Analisando os valores obtidos para a ER, constata-se que desde 2014 a 2019 e ao longo das estações do ano o processo de tratamento é 100 % eficaz na remoção de *Clostridium perfringens* (Tabela 7).

A ER de *Cryptosporidium* demonstra não ter sido totalmente eficaz na sua remoção, apenas no ano de 2014. Nos restantes anos foi sempre 100%. Analogamente, a ER da *Giardia* apenas foi menor que 100% no ano de 2014, onde obteve uma ER de 99,8 %. De forma geral, tirando casos muito pontuais, o processo de tratamento demonstra ser eficaz na remoção de *Cryptosporidium* e *Giardia* (Tabela 7).

A ER de fitoplâncton total apresenta ser constante, aproximadamente 99 %, tendo sido inferior nos anos de 2017 e 2018. Relativamente à sazonalidade, a ER é menor no inverno comparativamente às demais estações, pois a concentração de fitoplâncton também é menor nessa época do ano. É no verão, onde as temperaturas são mais elevadas e as águas se encontram estagnadas que pode ocorrer eutrofização das algas. Durante o período de estudo a ER das cianobactérias foi sempre 100 % (Tabela 7).

É possível evidenciar que quanto maior a concentração de determinado composto, maior é a taxa de remoção. Desta forma, é importante destacar que a ER apenas dá informação da percentagem removida de determinado composto da água durante o processo de tratamento, e não sobre a qualidade da água no final do tratamento.

Tabela 7: ER (%) parcial e global, de diversos parâmetros no processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar. Análise realizada de forma anual e por estação do ano. É apresentado o valor médio \pm desvio padrão

		2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Cor	RAB \rightarrow CAF	53,3 \pm 20,1	51,7 \pm 10,4	64,7 \pm 29,1	61,3 \pm 11,4	48,2 \pm 10,2	41,4 \pm 13,3	48,0 \pm 26,2	55,4 \pm 18,5	60,2 \pm 17,1	50,6 \pm 14,9
	CAF \rightarrow EE1	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	6,7 \pm 36,2	0,6 \pm 7,8	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	3,1 \pm 16,9	0,0 \pm 32,6	4,0 \pm 11,5	0,5 \pm 6,1
	RAB \rightarrow EE1	42,5 \pm 13,2	51,7 \pm 10,4	68,5 \pm 25,3	61,5 \pm 11,7	48,2 \pm 10,2	41,4 \pm 13,3	50,7 \pm 23,1	55,8 \pm 19,1	61,1 \pm 18,0	50,7 \pm 15,2
Turvação	RAB \rightarrow CAD	85,0 \pm 10,3	77,5 \pm 16,5	80,8 \pm 10,4	76,0 \pm 15,2	83,4 \pm 9,7	50,9 \pm 47,7	69,8 \pm 38,2	80,4 \pm 10,1	81,3 \pm 10,1	69,9 \pm 31,1
	CAD \rightarrow CAF	26,6 \pm 23,0	34,6 \pm 28,1	23,4 \pm 29,7	34,4 \pm 24,3	18,8 \pm 23,9	52,9 \pm 26,9	30,3 \pm 29,1	21,3 \pm 21,4	28,0 \pm 26,7	42,6 \pm 30,7
	CAF \rightarrow EE1	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	0,1 \pm 1,3	0,6 \pm 6,7	0,3 \pm 3,3	0,0 \pm 0,0	0,3 \pm 3,0	0,0 \pm 0,0	0,8 \pm 8,2
	RAB \rightarrow EE1	91,1 \pm 3,7	88,5 \pm 4,4	86,9 \pm 7,0	85,8 \pm 6,3	87,6 \pm 5,3	84,4 \pm 7,1	85,7 \pm 6,4	85,8 \pm 5,5	88,0 \pm 5,6	88,4 \pm 5,9
Manganês	RAB \rightarrow EE1	—	—	—	98,2 \pm 0,3	97,7 \pm 2,2	89,5 \pm 9,8	98,2 \pm 2,5	98,0 \pm 0,0	98,4 \pm 0,1	88,6 \pm 8,6
Alumínio	Cap \rightarrow CAF	89,8 \pm 7,6	91,6 \pm 4,0	75,0 \pm 34,5	82,9 \pm 18,2	69,7 \pm 32,5	86,5 \pm 11,9	82,4 \pm 27,7	75,5 \pm 25,4	82,6 \pm 23,5	89,5 \pm 13,0
	CAF \rightarrow EE1	-11,6 \pm 34,7	-24,4 \pm 39,8	-5,9 \pm 25,0	-7,7 \pm 45,6	-7,8 \pm 48,5	-9,6 \pm 35,1	-11,7 \pm 34,2	-10,9 \pm 31,2	-11,9 \pm 45,7	-12,9 \pm 43,1
	Cap \rightarrow EE1	89,7 \pm 6,5	90,0 \pm 5,1	76,8 \pm 26,2	83,9 \pm 14,8	68,7 \pm 37,2	86,8 \pm 9,5	84,7 \pm 15,4	74,7 \pm 27,2	82,3 \pm 25,3	88,7 \pm 14,0

Cap= captação; RAB= reservatório de água bruta; CAD= canal de água decantada; CAF= cisterna de água filtrada; EE1= estação elevatória 1.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

Tabela 7: ER (%) parcial e global, de diversos parâmetros no processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar (Continuação)

		2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Azoto amoniacal	RAB → CAF	—	—	80,0 ± 15,3	86,0 ± 14,6	80,0 ± 13,8	91,7 ± 4,7	84,9 ± 15,5	89,0 ± 4,1	81,1 ± 16,3	81,5 ± 15,5
	CAF → EE1	—	—	10,9 ± 18,8	3,1 ± 10,8	0,0 ± 0,0	8,3 ± 20,4	4,3 ± 13,6	4,2 ± 12,5	3,7 ± 11,1	5,6 ± 16,7
	RAB → EE1	—	—	84,0 ± 7,5	87,3 ± 14,7	80,0 ± 13,8	93,1 ± 1,4	84,6 ± 16,5	89,4 ± 4,4	81,6 ± 16,5	82,5 ± 15,8
Matéria Orgânica	RAB → TPO	40,9 ± 9,3	45,7 ± 7,6	44,9 ± 19,6	42,5 ± 11,3	47,4 ± 7,7	47,5 ± 12,5	43,9 ± 15,2	43,0 ± 11,4	46,1 ± 9,7	46,0 ± 7,1
	TPO → CAD	50,9 ± 11,0	48,0 ± 13,7	46,5 ± 19,8	39,3 ± 12,5	49,2 ± 16,4	49,9 ± 9,9	46,4 ± 15,7	46,2 ± 20,1	48,6 ± 11,6	48,5 ± 11,8
	CAD → CAF	12,2 ± 29,9	12,4 ± 84,9	18,8 ± 28,1	10,4 ± 49,1	25,3 ± 36,2	14,6 ± 39,2	17,2 ± 37,5	9,3 ± 85,1	20,4 ± 24,1	16,1 ± 26,3
	CAF → EE1	4,1 ± 17,6	3,2 ± 27,2	4,1 ± 20,5	5,1 ± 20,1	-4,4 ± 20,4	0,9 ± 16,6	4,5 ± 19,7	-0,8 ± 45,5	-0,2 ± 17,9	4,0 ± 19,8
	RAB → EE1	76,2 ± 6,8	78,4 ± 7,8	76,2 ± 19,7	75,1 ± 7,9	80,2 ± 5,6	79,5 ± 5,0	77,3 ± 12,4	77,8 ± 7,6	67,0 ± 28,4	78,3 ± 7,1
Bactérias coliformes	RAB → TPO	—	—	99,6 ± 0,3	99,7 ± 0,2	98,9 ± 1,4	99,0 ± 0,3	98,6 ± 1,6	—	99,6 ± 0,3	99,5 ± 0,5
	TPO → CAF	—	—	-46,8 ± 146,6	-222,7 ± 390,4	-840,5 ± 1 858,8	100,0 ± 0,0	-166,7 ± 461,9	—	-133,3 ± 283,5	75,8 ± 23,0
	CAF → EE1	—	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	-	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0
	RAB → EE1	—	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0

RAB= reservatório de água bruta; TPO= torre de pré-oxidação; CAD= canal de água decantada; CAF= cisterna de água filtrada; EE1= estação elevatória 1.

Tabela 7: ER (%) parcial e global, de diversos parâmetros no processo de tratamento da ETA de Areias de Vilar (Continuação)

		2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30/06/19)	Primavera	Verão	Outono	Inverno
<i>E.coli</i>	RAB → TPO	100,0 ± 0,0	—	—	100,0 ± 0,0	99,6 ± 0,8	99,6 ± 0,5	99,8 ± 0,5	—	100,0 ± 0,0	99,9 ± 0,3
	TPO → CAF	-	—	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0
	CAF → EE1	-	—	—	100,0 ± 0,0	-	-	100,0 ± 0,0	—	-	-
	RAB → EE1	100,0 ± 0,0	—	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0
Enterococos	RAB → TPO	99,8 ± 0,4	99,9 ± 0,2	99,9 ± 0,4	99,5 ± 0,7	99,8 ± 0,5	99,0 ± 1,1	99,8 ± 0,4	—	99,7 ± 0,5	99,6 ± 0,6
	TPO → CAF	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0					
	CAF → EE1	-	-	-	-	-	-	-	—	-	-
	RAB → EE1	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0					
<i>Clostridium perfringens</i>	RAB → EE1	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0					
<i>Cryptosporidium</i>	Cap → EE1	95,5 ± 15,1	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	95,0 ± 15,8	100,0 ± 0,0
<i>Giardia</i>	Cap → EE1	99,8 ± 0,9	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	99,7 ± 0,9	100,0 ± 0,0
Fitoplâncton total	RAB → EE1	99,6 ± 0,3	99,6 ± 0,3	99,4 ± 0,8	99,0 ± 2,2	98,6 ± 3,6	—	99,8 ± 0,2	99,7 ± 0,3	99,2 ± 2,0	98,7 ± 2,6
Fito. Cianobactérias	RAB → EE1	—	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	—	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0

Cap= captação; RAB= reservatório de água bruta; TPO= torre de pré-oxidação; CAF= cisterna de água filtrada; EE1= estação elevatória 1.

5.3. Qualidade da Água Tratada

Para avaliar a qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, foi analisado o cumprimento dos VP relativamente aos parâmetros definidos nas Partes I, II e III do Anexo I do Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro, no período compreendido entre 2014 e junho de 2019.

Para clarificar a informação optou-se por apresentar a mesma com estrutura semelhante à do DL. Desta forma, na Tabela 8 apresentam-se os parâmetros microbiológicos, na Tabela 9 apresentam-se os parâmetros químicos, e na Tabela 10 os parâmetros indicadores.

Tabela 8: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros microbiológicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Valores a laranja indicam que ocorreram situações de incumprimento nesse ano)

Parte I – Parâmetros Microbiológicos									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	0	N/100 mL	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	Em 2017, apenas 99,2 % das análises cumpre a legislação (máximo detetado de 1N/100 mL)
Enterococos	0	N/100 mL	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	100 % das análises cumprem a legislação

Tabela 9: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros químicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro

Parte II – Parâmetros Químicos									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
Acrilamida	0,10	µg/L	<0,050 a) b)	<0,050 a) b)	<0,050 a) b)	<0,050 a) b)	<0,050 a) b)	<0,050 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
Antimónio	5,0	µg/L Sb	<4,0 a) b)	<4,0 a) b)	<4,0 a) b)	<1,0 a) b)	<3,5 a) b)	<3,5 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção. **b)** Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

Tabela 9: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros químicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Continuação)

Parte II – Parâmetros Químicos									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
Arsénio	10	µg/L As	<3,0 a) b)	<3,0 a) b)	<3,0 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Benzeno	1,0	µg/L	<0,26 a) b)	<0,26 a) b)	<0,26 a) b)	<0,26 a) b)	<0,5 a) b)	<0,2 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
Benzo(a)pireno	0,010	µg/L	-	-	-	-	-	-	-
Boro	1,0	mg/L B	<0,10 a) b)	<0,10 a) b)	<0,10 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Bromatos	10	µg/L BrO ₂	<8 a) b)	<8 a) b)	<8 a) b)	<8 a) b)	<10 a) b)	<10 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
Cádmio	5,0	µg/L Cd	<0,30 a) b)	<0,30 a) b)	<1,0 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Cianetos	50	µg/LCN	<10 a) b)	<10 a) b)	<10 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Chumbo	10	µg/L Pb	<4 a) b)	<4 a)	<7 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Cloreto de vinilo	0,50	µg/L	-	-	-	-	-	-	-
Crómio	50	µg/L Cr	<0,5 a) b)	<5 a) b)	<5 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Cobre	2,0	mg/L Cu	<0,002 a) b)	<0,0016 a) b)	<0,002 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
1,2-dicloroetano	3,0	µg/L	<0,25 a) b)	<0,25 a) b)	<0,25 a) b)	<0,25 a) b)	<0,9 a) b)	<0,5 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
Epicloridrina	0,10	µg/L	-	-	-	-	-	-	-

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

Tabela 9: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros químicos, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Continuação)

Parte II – Parâmetros Químicos									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
Fluoretos	1,5	mg/L F	<0,5 a) b)	<0,5 a) b)	<0,5 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
HPA	0,10	µg/L	<0,0398 a) b)	<0,0398 a)	<0,0398 a) b)	<0,04 a)	<0,041 a)	<0,041 a)	100 % das análises cumprem a legislação
Mercúrio	1,0	µg/L Hg	<0,32 a) b)	<0,32 a)	<0,3 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Níquel	20	µg/L Ni	<2,0 a) b)	<2,0 a)	<6,0 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Nitratos	50	mg/L NO ₃	3,3 ± 0,8	3,7 ± 0,8	3,5 ± 1,1	4,7 ± 1,4	3,4 ± 0,9	4,6 ± 0,8	100 % das análises cumprem a legislação
Nitritos	0,50	mg/L NO ₂	<0,10 a)	<0,10 a)	<0,10 a)	<0,10 a)	<0,10 a)	<0,10 ^{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
Pesticida Individual	0,10	µg/L	-	-	-	-	-	-	-
Pesticidas Total	0,50	µg/L	-	-	-	-	-	-	-
Selénio	10	µg/L Se	<3,2 a) b)	<3,2 a) b)	<3,0 a) b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Tetracloro-eteno e Tricloro-eteno	10	µg/L	-	-	<0,5 a) b)	<0,5 a) b)	<1,5 a) b)	<1,0 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
THM	100	µg/L	9,7 ^{b)}	8,0 ^{b)}	3,2 ^{b)}	9,0 ± 9,1	6,2 ± 3,1	<2,0 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação

HPA = Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos.

THM = Trihalometanos

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

Tabela 10: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros indicadores, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Valores a laranja indicam que ocorreram situações de incumprimento nesse ano)

Parte III – Parâmetros Indicadores									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
Alumínio	200	µg/L Al	21,63 ± 10,59	20,80 ± 7,17	24,16 ± 11,43	21,16 ± 8,19	28,98 ± 13,37	18,71 ± 7,04	100 % das análises cumprem a legislação
Amónio	0,50	mg/L NH	-	-	<0,025 a) b)	-	<0,025 a) b)	<0,025 a) b)	100 % das análises cumprem a legislação
Bactérias Coliformes	0	N/100 mL	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	Em 2017, apenas 98,8 % das análises cumpre a legislação (máximo detetado de 2N/100 mL)
Cálcio	-	mg/L Ca	34,3 ± 4,7	34,3 ± 4,2	29,7 ± 2,5	27,4 ± 4,6	17,2 ± 2,3	17,8 ± 2,3	100 % dos valores encontram-se abaixo do valor recomendado de 100 mg/L
Carbono Orgânico Total (COT)	SAA	mg/L C	<2,0 a) b)	0,71 b)	<1,0 a) b)	<6,6	-	-	-
Cheiro, a 25°C	3	Fator de Diluição	<1,0 a)	<1,0 a)	<1,0 a)	<1,0 a)	<1,0 a)	<1,0 a)	100 % das análises cumprem a legislação
Cloretos	250	mg/L Cl	6,7 b)	8,2 b)	6,4 b)	-	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Cloritos	0,7	mg/L ClO ₂	-	-	-	-	-	-	-
Cloratos	0,7	mg/L ClO ₃	-	-	-	-	-	-	-

SAA = sem alteração anormal.

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

Tabela 10: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros indicadores, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Continuação)

Parte III – Parâmetros Indicadores									
Parâmetro	VP	Unidade e de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos)	0	N/100 mL	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,2	0,0 ± 0,1	0,0 ± 0,0	Em 2017 e 2018, apenas 99,6 % das análises cumprem a legislação (máximo detetado de 3 N/100 mL)
Condutividade	2 500	µS/cm a 20°C	172 ± 6	171 ± 7	162 ± 6	159 ± 20	110 ± 8	115 ± 8	100 % das análises cumprem a legislação
Cor	20	mg/L PtCo	<2,0 ^{a)}	<2,0^{a)}	<2,0^{a)}	<2,0^{a)}	<2,0^{a)}	<2,0^{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
Desinfetante residual	-	mg/L	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,1	0,9 ± 0,1	-
Dureza total	-	mg/L CaCO ₃	89 ± 11	83 ± 11	78 ± 7	72 ± 12	46 ± 6	48 ± 3	100 % encontram-se abaixo do valor recomendado (150-500 mg/L)
Ferro	200	µg/L Fe	<40 ^{a)}	<40^{a)}	<40^{a)}	<40^{a)}	<40^{a)}	<40^{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
Magnésio	-	mg/L Mg	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,3	1,1 ± 0,5	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,0	100 % dos valores encontram-se abaixo do valor recomendado de 50 mg/L
Manganês	50	µg/L Mn	<0,3 a) b)	<0,3 a) b)	<0,3 a) b)	<0,3 a)	<0,7	<0,4	100 % das análises cumprem a legislação
Microcistinas – LR total	1	µg/L	-	-	-	-	-	-	-

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

Tabela 10: Análise da conformidade da qualidade da água tratada na ETA de Areias de Vilar, relativamente aos parâmetros indicadores, segundo o Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro (Continuação)

Parte III – Parâmetros Indicadores									
Parâmetro	VP	Unidade de Medida	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até junho)	Observações
Nº de colónias a 22°C	SAA	N/mL a 22°C	0,5 ± 4,4	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,3	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	100 % das análises encontram-se abaixo do valor recomendado, que é não ultrapassar 100 N/mL
Nº de colónias a 36°C	SAA	N/mL a 36°C	0,7 ± 4,5	0,1 ± 0,4	0,0 ± 0,2	0,0 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	Em 2014, 0,8 % das análises encontram-se acima do valor recomendado (superior a 20 N/mL)
Oxidabilidade	5,0	mg/l O ₂	<1,0 _{a)}	<1,0 _{a)}	<1,0 _{a)}	<1,0 _{a)}	<1,5 _{a)}	<1,5 _{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
pH	>6,5 e <9,5	Unidades de pH	7,9 ± 0,2	7,9 ± 0,1	7,9 ± 0,1	7,8 ± 0,1	7,8 ± 0,1	7,7 ± 0,2	100 % das análises cumprem a legislação
Sabor, a 25°C	3	Fator de Diluição	<1 _{a)}	<1 _{a)}	<1 _{a)}	<1 _{a)}	<1 _{a)}	<1 _{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
Sódio	200	mg/L Na	<5,0 _{a) b)}	5,6 _{b)}	4,2 _{b)}	6,9 _{b)}	5,0 _{b)}	4,3 _{b)}	100 % das análises cumprem a legislação
Sulfato	250	mg/L SO ₄	3,1 _{b)}	2,9 _{b)}	2,5 _{b)}	3 _{b)}	-	-	100 % das análises cumprem a legislação
Turvação	4	UNT	<0,20 _{a)}	<0,20 _{a)}	<0,20 _{a)}	<0,20 _{a)}	<0,20 _{a)}	<0,20 _{a)}	100 % das análises cumprem a legislação
Dose Indicativa (DI)	0,10	mSv	-	-	-	-	-	-	-
Radão	500	Bq/L	-	-	-	-	-	-	-
Trítio	100	Bq/L	-	-	-	-	-	-	-

SAA = sem alteração anormal.

a) Para este parâmetro não é possível quantificar um valor exato mas apenas afirmar que é inferior ao limite de deteção.

b) Apenas um resultado analítico, geralmente análise anual.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

Analisando os resultados das Tabela 8, 9 e 10 verifica-se que praticamente todos os parâmetros cumprem os VP definidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro no período em estudo, o que comprova uma elevada qualidade da água tratada para consumo humano.

Apenas muito pontualmente foram ultrapassados os VP definidos pelo Decreto-Lei n.º 152/2017, de 7 de dezembro. Os únicos casos em que se verificou incumprimento foi ao nível dos parâmetros *E. coli*, bactérias coliformes e *Clostridium perfringens*.

Destaque para o parâmetro dureza, para o qual, apesar de não estar definido nenhum VP, recomenda-se que a concentração deste se encontre entre os 150 a 500 mg/L CaCO₂, o que não se verifica na água tratada à saída da ETA de Areias de Vilar. No período de estudo, 100 % das análises encontram-se abaixo deste valor.

A ocorrência dos casos em que a qualidade da água tratada não cumpriu os VP, bem como as situações pontuais em que os limites de alerta e limites críticos definidos no PCO foram ultrapassados, conduziram à necessidade de otimizar o processo de pré-oxidação e desinfecção, promovendo uma desinfecção cruzada (ozono-UV-cloro), para garantir um serviço de excelência onde a qualidade da água constitui um objetivo primordial (assegurando a Saúde Pública).

No período temporal de realização deste trabalho, apenas foi possível efetuar a alteração prevista na etapa de pré-oxidação (que ocorreu a pouco tempo do final do estágio). Assim, na seção seguinte é realizada uma análise mais detalhada desta etapa de tratamento, nomeadamente antes e após instalação dos novos geradores de ozono.

5.4. Análise detalhada do Processo de Pré-oxidação

5.4.1. Ozono Residual e Bromatos

A monitorização de ozono residual à saída das TPO é um indicador relevante, pois tem sido a referência na definição na taxa de tratamento, garantido deste modo ozono disponível no processo de pré-oxidação. A concentração de ozono residual indica se o processo de pré-oxidação é eficaz, isto é, se o ozono que está a ser adicionado à água a tratar é suficiente para que ocorram todas as reações químicas. Caso não seja detetado ozono residual à saída das TPO o processo de pré-oxidação pode estar comprometido.

A concentração de ozônio residual à saída das TPO é analisada diariamente, em duplicado, pelo LabAdNorte da ETA de Areias de Vilar e pelo laboratório de exploração. Relativamente à análise deste parâmetro nos dois laboratórios, estão definidos no PCO diferentes valores para o limite de alerta (Tabela 11), não tendo sido estipulado nenhum limite crítico.

Tabela 11: Limite de Alerta definido para o parâmetro concentração de ozônio residual à saída das TPO

Concentração de ozônio residual (mg/L)	
LA	
LabAdNorte	<0,02
Laboratório de Exploração	]0,1;0,3[

TPO= torre de pré-oxidação

A Figura 28 evidencia a ocorrência de períodos em que a concentração de ozônio residual à saída das TPO foi inferior ao LA (sobretudo no período de verão), revelando que anteriormente à instalação dos novos gerados de ozônio, a etapa de pré-oxidação nem sempre era eficiente. Após instalação dos novos geradores de ozônio, tem-se detetado ozônio residual à saída das TPO. Contudo, numa primeira fase foram monitorizados valores de ozônio residual abaixo do LA, sendo este período correspondente ao arranque dos geradores de ozônio. Denota-se também um decréscimo no ozônio residual em meados de agosto, coincidindo com o período decretado como greve dos motoristas de substâncias perigosas, tendo sido necessário fazer uma gestão dos reagentes e conseqüentemente diminuir a taxa de tratamento de ozônio residual. Ressalva-se que o número de dados disponíveis após instalação dos novos geradores é historicamente reduzido e que os ensaios de otimização dos equipamentos ainda não tinham sido concluídos, pelo que será precoce tentar comparar e retirar conclusões relativamente a esta alteração efetuada na linha de tratamento. Optou-se assim por organizar e compilar os dados disponíveis, de forma a facilitar uma futura avaliação.

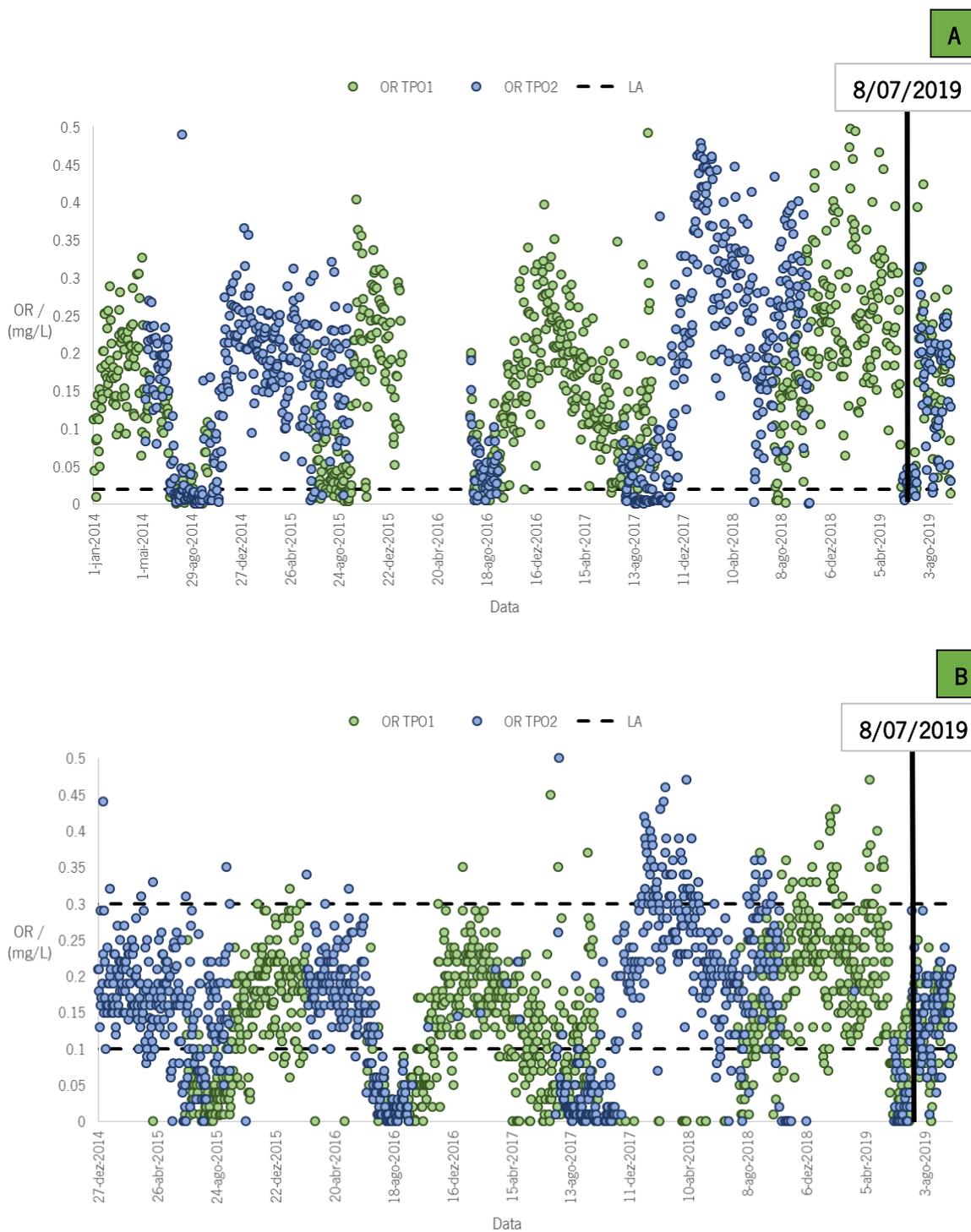


Figura 28: Variação da concentração de ozônio residual (OR) à saída das TPO, desde janeiro de 2014 a setembro de 2019. Dados obtidos pelas análises realizadas no LabAdNorte (A) e no laboratório de exploração (B). (TPO 1= torre de pré-oxidação 1; TPO 2= torre de pré-oxidação 1; LA= limite de alerta).

À saída das TPO monitoriza-se o parâmetro bromatos. A formação de bromatos na água para consumo humano deve-se, particularmente, à oxidação de brometos perante a utilização de ozono.

Os valores monitorizados à saída das TPO, de 2014 a 2019, foram sempre inferiores ao limite de deteção do método de quantificação utilizado, tendo-se cumprido o LA definido no PCO, que corresponde ao VP estabelecido pelo Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro, que é 10 ug/L BrO₃. No mesmo DL, recomenda-se que o valor deste parâmetro seja baixo quanto possível, sem comprometer a eficácia do processo.

De forma a minimizar a ocorrência dos bromatos na água é necessário adicionar a dose ideal de ozono. O uso de ozono em quantidade reduzida e a diminuição de pH podem ser aspetos a ter-se em conta para a minimização da concentração de bromatos na água.

5.4.2. Parâmetros Microbiológicos e Matéria Orgânica

A quantificação de bactérias coliformes, *E. coli* e Enterococos na água ozonizada é realizada trimestralmente pelo LabAdNorte. Quanto à quantificação de *Clostridium perfringens* na água ozonizada, foi apenas monitorizada em 2014, voltando a ser monitorizada após instalação dos novos geradores de ozono. Após o arranque dos novos geradores de ozono, estes parâmetros foram excecionalmente monitorizados com periodicidade semanal.

Desde o início do ano de 2014 até junho de 2019, a etapa de pré-oxidação com ozono removeu cerca de 99,4±0,8 % das bactérias coliformes, tendo a LT2 apresentado maior eficiência de remoção (ER), cerca de 99,0±1,5 %, comparativamente à LT1, 90,5±0,3 % (Tabela 12). Após instalação dos novos geradores de ozono, a ER global obtida foi 61,6±81,5 %, bastante inferior à obtida com os geradores anteriores. Este valor resulta de paragens forçadas dos geradores de ozono para ensaios, levando a um aumento de bactérias coliformes na água ozonizada, registando-se duas ocorrências na LT2. Analisando a ER obtida na LT1, onde não ocorreu nenhuma situação fora da normalidade, constata-se que a ER foi 97,6±3,2 %, valor mais baixo, no entanto, aproximado aos obtidos com os antigos geradores de ozono.

Relativamente ao parâmetro *E. coli*, constata-se elevada eficiência de remoção na pré-oxidação com ozono desde 2014 a junho de 2019, tendo-se obtido ER superiores a 99 % nas diferentes LT (Tabela 12). Após instalação dos novos geradores de ozono, a ER da *E. coli* diminuiu para um valor médio de cerca de 96 %, o qual resulta principalmente da diminuição verificada na LT1.

No caso dos Enterococos averiguou-se que no período de 2014 a junho de 2019 foram sempre obtidos valores de ER superiores a 99 % (Tabela 12). Após instalação dos novos geradores de ozono, a ER obtida foi sempre 100 %.

Tabela 12: ER (%) dos parâmetros microbiológicos no processo de pré-oxidação com ozono desde 2014 até setembro de 2019

		Concentração (N/100 mL)	
		TPO - saída	
		Antes da Alteração (GO ZF04AT Ozonia)	Depois da Alteração (GO CFV 10 Ozonia)
		2014 - 2019	08/07/19 - 30/09/19
Bactérias Coliformes	LT1	90,5 ± 0,3	97,6 ± 3,2
	LT2	99,0 ± 1,5	25,6 ± 108,1
	Global	99,4 ± 0,8	61,6 ± 81,5
<i>Escherichia coli</i>	LT1	99,9 ± 0,2	93,6 ± 12,0
	LT2	99,6 ± 0,8	98,6 ± 3,1
	Global	99,9 ± 0,4	96,1 ± 8,7
Enterococos	LT1	99,6 ± 0,7	100,0 ± 0,0
	LT2	99,7 ± 0,5	100,0 ^{a)}
	Global	99,6 ± 0,6	100,0 ± 000
<i>Clostridium perfringens</i>	LT1	79,6 ± 31,7	80,6 ± 15,9
	LT2	-	70,0 ± 34,3
	Global	79,6 ± 31,7	75,3 ± 25,8

LT1= linha de tratamento 1; LT2= linha de tratamento 2; a) apenas existe um valor

Com o sistema de geração de ozono anterior, constata-se que a ER de *Clostridium perfringens* apresentou um valor médio de 80±32 %, sendo possível verificar que os valores individuais foram bastante variáveis. Após instalação dos novos geradores de ozono a ER obtida foi cerca de 75±26 % (Tabela 12), apresentando a LT1 valores mais elevados de remoção, também estes associados aos ensaios efetuados nos geradores de ozono.

A análise realizada para os parâmetros microbiológicos foi sustentada num reduzido número de dados, cerca de 6 resultados analíticos (julho a agosto). Recomenda-se posterior análise quando o histórico de resultados analíticos for consistente.

A quantificação de UV 254 na água ozonizada é realizada semanalmente pelo LabAdNorte. Os resultados obtidos (Tabela 13) demonstram que entre 2014 e junho de 2019, a ER de matéria

orgânica na etapa de pré-oxidação com ozono foi aproximadamente 44 %, sendo que a diferença obtida entre as LT é pouco significativa. Relativamente à variação da ER com as estações do ano, denota-se maior eficiência no outono e no inverno. Com os novos geradores, a ER obtida é semelhante à ER obtida no período de verão nos anos anteriores, *i.e.* aproximadamente 43 %.

Tabela 13: ER (%) de matéria orgânica no processo de pré-oxidação com ozono desde 2014 até setembro de 2019

	UV 254 nm (/cm) TPO - saída					
	Antes da Alteração (GO ZF04AT Ozonia)					Depois da Alteração (GO CFV 10 Ozonia)
	2014 – junho 2019	Primavera	Verão	Outono	Inverno	08/07/19 30/09/19
LT1	44,8 ± 12,8	45,0 ± 6,13	42,02 ± 18,5	48,2 ± 7,7	45,9 ± 8,9	43,0 ± 7,4
LT2	43,5 ± 19,6	42,20 ± 27,43	43,0 ± 17,7	44,6 ± 10,8	46,1 ± 8,7	42,7 ± 13,9
Global	44,3 ± 16,3	43,06 ± 23,06	42,5 ± 18,1	47,1 ± 8,9	44,5 ± 15,9	42,9 ± 10,6

LT1= linha de tratamento 1; LT2= linha de tratamento 2

5.4.3. Avaliação Económica

5.4.3.1. Consumo de Reagentes – Oxigénio

De forma a comparar o consumo específico de oxigénio associado à etapa de pré-oxidação, registaram-se graficamente os valores obtidos antes e após o arranque dos novos geradores de ozono (Figura 29).

Constata-se incoerência no consumo específico mensal de oxigénio nos vários anos do estudo. Este consumo é estimado mensalmente. Para apurar a quantidade de reagente consumido em determinado mês, contabilizou-se a quantidade existente no seu início e a quantidade de produto rececionado durante esse período. O consumo mensal foi obtido, subtraindo a quantidade de reagente existente no final do período considerado. A quantidade de reagente existente no início, e final de cada mês, foi obtida pela leitura do nível dos depósitos de armazenamento de oxigénio, valor que poderá não traduzir uma realidade rigorosa da quantidade de oxigénio armazenado, atendendo aos resultados obtidos (Figura 29).

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

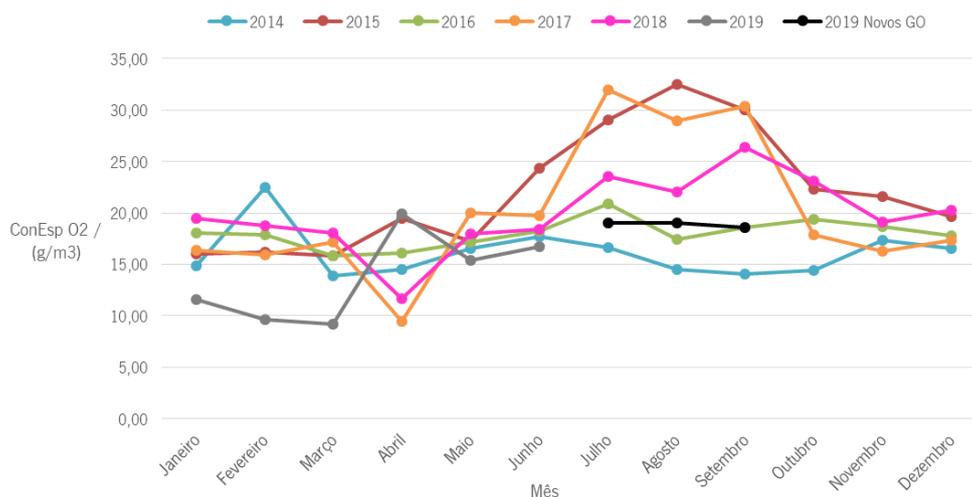


Figura 29: Evolução do consumo específico (ConEsp) mensal de oxigênio na etapa de pré-oxidação com ozono, desde janeiro de 2014 a setembro de 2019. (GO= gerador de ozono).

Evidencia-se o aumento do consumo específico de oxigênio entre os meses de março e abril de 2019, justificado pela substituição dos dois depósitos de armazenamento (capacidade total de 45 Ton) por um único depósito (capacidade de 26 Ton), substituição necessária devido à alteração de fornecedor de oxigênio.

Na fase de arranque e ensaios após instalação dos novos geradores de ozono (julho a setembro de 2019), verifica-se que o consumo médio específico de oxigênio foi aproximadamente 19 g/m³.

5.4.3.2. Consumo de Energia Elétrica

A eficiência energética é uma preocupação presente na exploração da ETA de Areias de Vilar, monitorizada atualmente pela plataforma Kisense Energy Optimiser (KEO), que veio substituir a partir de meados de maio de 2019, a plataforma SmartWatt. O KEO permite fácil gestão dos consumos energéticos, possibilitando monitorizar em tempo real os consumos de energia nas diversas etapas de tratamento da ETA e demais áreas (como edifício de reagentes, laboratório, estações elevatórias, entre outros).

Tendo-se substituído os geradores de ozono por equipamentos novos, o estudo do consumo energético associado a esta alteração é um princípio. Para o efeito consideraram-se os anos de 2018 e 2019 (até setembro).

Os dados de 2018 a maio de 2019 foram obtidos utilizando o consumo energético total da ETA, aplicando a esse valor, um fator percentual correspondente à energia consumida na etapa de pré-oxidação (plataforma SmartWatt). Os dados de junho a setembro de 2019 foram obtidos pela plataforma KEO.

O consumo específico de energia elétrica verificado na etapa de pré-oxidação foi previsto considerando o caudal de água a tratar, tendo-se obtido um valor médio de $0,0103 \pm 0,0003$ kW/m³ até junho de 2019 (Tabela 14). Nos meses posteriores (julho a setembro de 2019), verificou-se um aumento do consumo específico de energia (Tabela 14), justificado pelo arranque e período de ensaio dos novos equipamentos.

Tabela 14: Consumo específico de energia elétrica, desde janeiro de 2018 a setembro de 2019, na etapa de pré-oxidação

2018	Consumo Específico de Energia (kW/m ³ de água)	2019	Consumo Específico de Energia (kW/m ³ de água)
Janeiro	0,0103	Janeiro	0,0104
Fevereiro	0,0102	Fevereiro	0,0102
Março	0,0103	Março	0,0101
Abril	0,0102	Abril	0,0104
Maio	0,0103	Maio	0,0102
Junho	0,0103	Junho	0,0094
Julho	0,0102	Julho	0,0160
Agosto	0,0102	Agosto	0,0175
Setembro	0,0108	Setembro	0,0148
Outubro	0,0095		
Novembro	0,0108		
Dezembro	0,0101		

5.4.4. Ensaio de Otimização

Os ensaios aos geradores de ozônio permitiram a construção dos gráficos mencionados na seção 4.4.. Dos três equipamentos ensaiados, apresenta-se os resultados obtidos para o Gerador CL302 C (Figura 30, Figura 31 e Figura 32), remetendo-se para o Anexo VII os gráficos relativos ao Gerador CL302 B e Gerador CL302 A.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

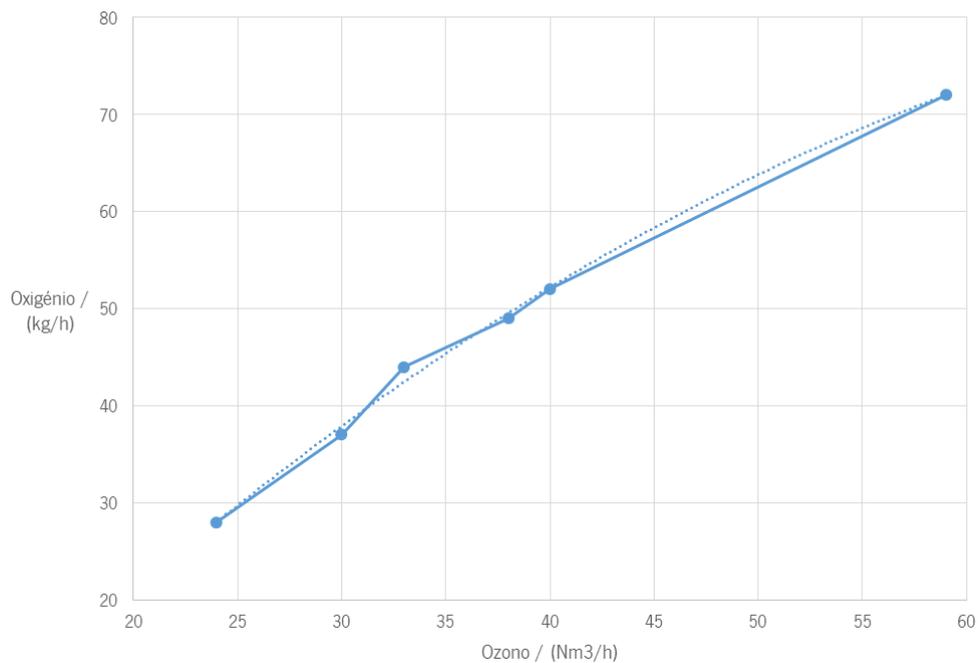


Figura 30: Relação entre o caudal de ozônio e o caudal de oxigênio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.

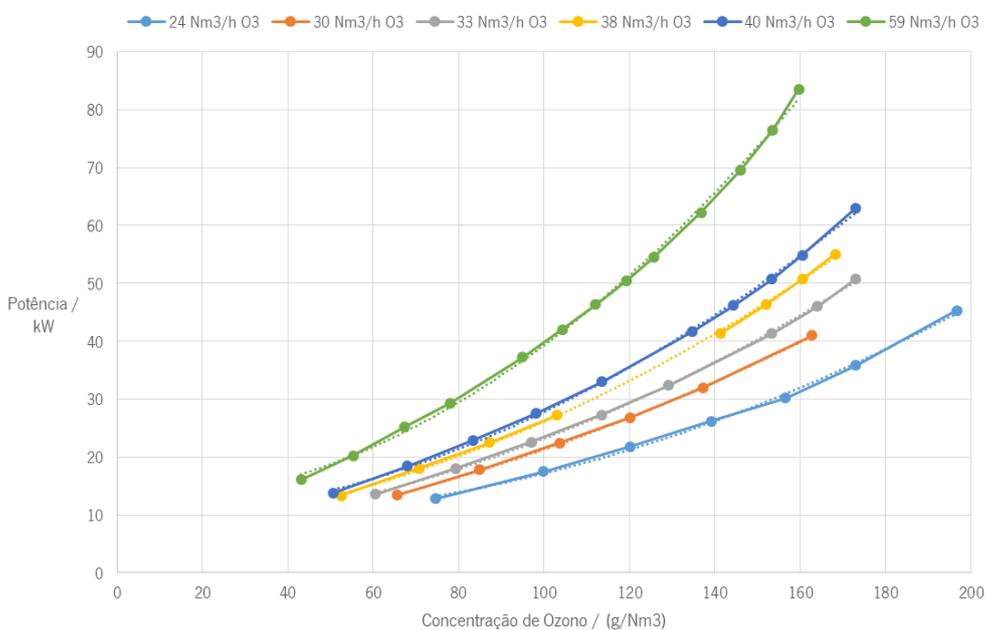


Figura 31: Relação entre a concentração de ozônio e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.

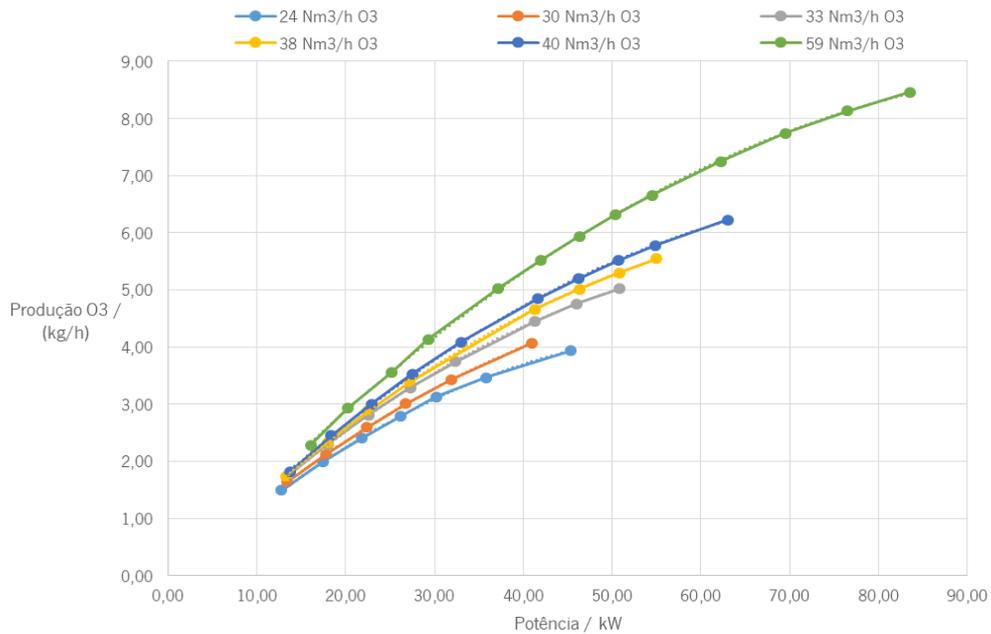


Figura 32: Relação entre a potência e a produção de ozono, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 C.

Da análise dos gráficos apresentados retém-se que o caudal de ozono produzido é diretamente proporcional ao consumo de oxigénio, e que a potência do equipamento acompanha o aumento da concentração e da produção de ozono.

Como referido na secção 4.4., esta informação foi vertida para o ficheiro EXCEL dinâmico, que permite comparar os consumos (oxigénio e energia) e custos totais de produção de ozono para cada um dos equipamentos instalados.

Como variáveis de entrada, terão de ser introduzidos os seguintes dados:

- Caudal de água a tratar (m^3/h);
- Taxa de tratamento de ozono pretendida (mg/L);
- Número de linhas em funcionamento;
- Número de geradores em funcionamento.

Após introdução das variáveis de entrada, são calculadas as concentrações de ozono necessárias, correspondentes aos diversos caudais volumétricos de ozono ensaiados. Associada a cada concentração de ozono listada no ficheiro EXCEL, é também gerada a seguinte informação:

- Potência necessária do gerador de ozono (kW);

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

- Consumo específico de energia (kW/kg O₃);
- Custo de energia (€/kWh);
- Consumo específico de oxigénio;
- Custo do oxigénio (€/kg O₂ h);
- Custo total de produção (€/h).

Para cada gerador de ozono é também gerado um gráfico resumo com os custos totais de produção, assim como um gráfico comparativo entre os custos obtidos pelos três geradores.

Na Figura 33 apresenta-se a folha Excel mencionada.

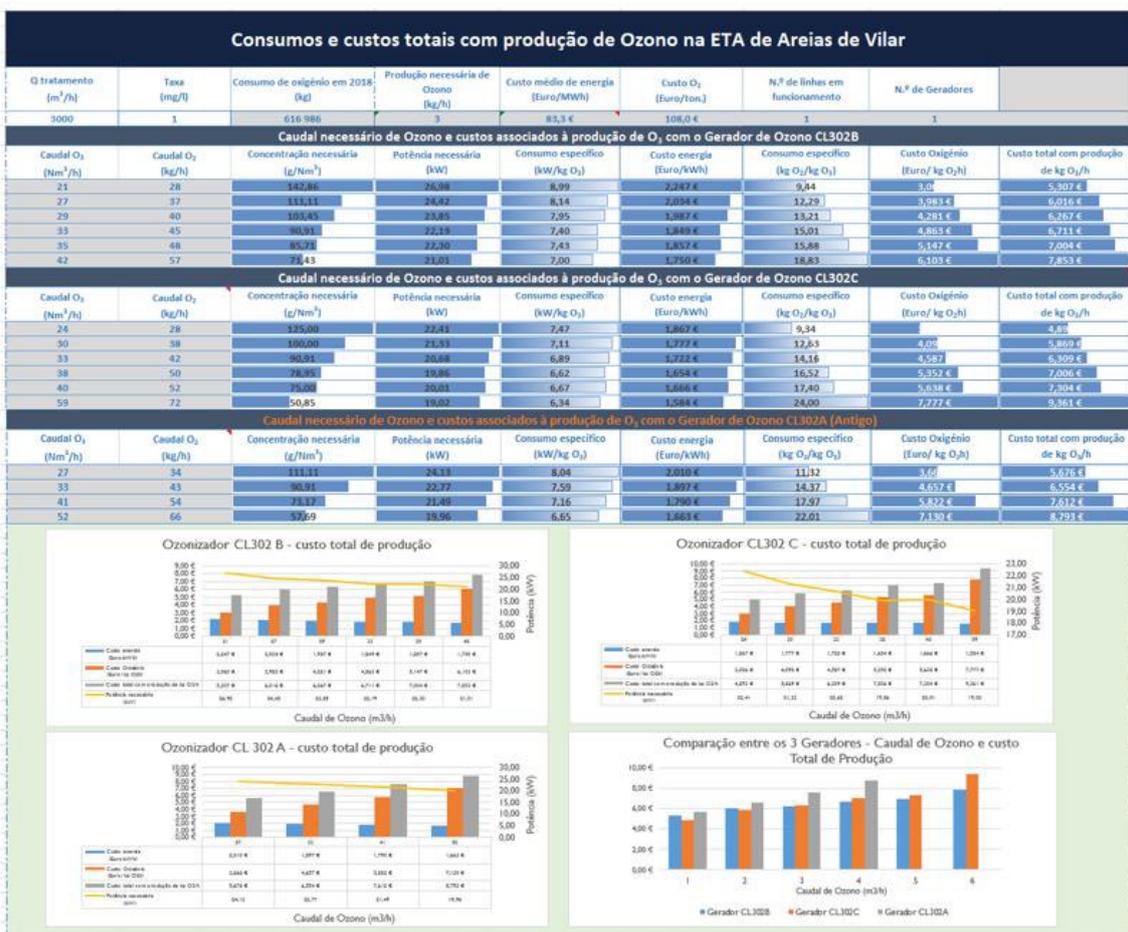


Figura 33: Folha de EXCEL dinâmica para ser utilizada como ferramenta de apoio à tomada de decisão, pela equipa de operação da ETA.

As diversas hipóteses geradas permitem optar por dois modos de operação, uma vez que o caudal volumétrico de ozono varia na razão inversa da concentração de ozono, sendo eles:

- **Modo de Operação 1:** caudal volumétrico de ozono baixo e concentração de ozono elevada. A potência requerida pelo equipamento é elevada, apresentado um consumo específico de energia alto. A quantidade de oxigénio para a produção é reduzida, apresentando um consumo específico em oxigénio baixo;
- **Modo de Operação 2:** caudal volumétrico de ozono elevado e baixa concentração de ozono. A potência requerida pelo equipamento é reduzida, apresentado um consumo específico de energia baixo. A quantidade de oxigénio para a produção é elevado, apresentando um consumo específico em oxigénio alto.

Do ponto de vista económico, os custos totais de operação para produção de ozono apresentam ser mais favoráveis para o modo de operação 1, sendo mais vantajoso elevar o consumo de energia e reduzir o consumo de oxigénio.

Calculando-se os custos totais de produção de ozono em três dias para cada um dos modos de operação referidos, constata-se que o modo de operação 1 é economicamente mais vantajoso, podendo gerar uma poupança diária entre 24 e 55 € (Tabela 15). O valor do ganho diário é influenciado pelas condições operacionais requeridas no processo da pré-oxidação durante as 24 horas. Condições que exigem elevada capacidade do gerador de ozono (como é exemplo o dia 1) são limitativas pois restringem as combinações “caudal volumétrico de ozono e concentração de ozono”, não permitindo optar por um modo de operação. Quando as condições operacionais não são tão exigentes (como é exemplo o dia 2), diversos modos de operação são apresentados, possibilitando a escolha do modo de operação economicamente mais favorável.

Através da amostragem analisada, estima-se um ganho médio anual de 14 196 €, quando a tomada de decisão tem em consideração o modo de operação 1 (Tabela 15).

De salientar que no período de amostragem apenas esteve em funcionamento o Gerador CL302 C. Contudo, em determinados períodos do dia 1 (marcados a cinzento na Tabela 15), teria sido economicamente mais favorável operar com dois geradores de ozono em simultâneo, gerando-se

uma poupança de 3,24 €. Atendendo que esses períodos foram relativamente curtos, essa alteração na operação não se justifica.

A operação com dois geradores de ozono deverá ser equacionada quando é requerida uma produção de ozono superior a 6 kg/h, durante períodos consideráveis.

Tabela 15: Custos totais de produção de ozono em três dias, através de diferentes modos de operação

	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Q t (m ³ /h)	00:00 – 05:00 → 4 100 05:00 – 06:00 → 3 700 06:00 – 07:00 → 3 300 07:00 – 07:30 → 3 100 07:30 – 08:00 → 2 900 08:00 – 13:00 → 2 700 13:00 – 14:00 → 2 900 14:00 – 17:30 → 3 100 17:30 – 19:30 → 3 300 19:30 – 22:30 → 3 500 22:30 – 00:00 → 3 700	00:00 – 04:00 → 4 100 04:00 – 06:00 → 3 900 06:00 – 06:30 → 3 800 06:30 – 07:30 → 3 500 07:30 – 09:30 → 3 300 09:30 – 12:30 → 3 300 12:30 – 23:30 → 3 500 23:30 – 00:00 → 3 700	00:00 - 00:30 → 3700 00:30 – 16:30 → 3900 16:30 – 22:00 → 4100 22:00 – 00:00 → 4300
TT (mg/L)	00:00 – 06:15 → 1,95 05:00 – 06:00 → 1,95 06:00 – 07:00 → 1,95 07:00 – 07:30 → 1,95 07:30 – 08:00 → 1,95 08:00 – 13:00 → 1,7 13:00 – 14:00 → 1,8 14:00 – 17:30 → 1,75 17:30 – 19:30 → 1,75 19:30 – 22:30 → 1,8 22:30 – 00:00 → 1,75	00:00 – 04:00 → 1,30 04:00 – 06:00 → 1,30 06:00 – 06:30 → 1,30 06:30 – 07:30 → 1,3 07:30 – 09:30 → 1,4 09:30 – 12:30 → 1,2 12:30 – 16:30 → 1,4 16:30 – 21:00 → 1,5 21:00 – 23:30 → 1,4 23:30 – 00:00 → 1,4	00:00 – 00:30 → 1,4 00:30 – 11:00 → 1,20 11:00 – 14:00 → 1,4 14:00 – 16:30 → 1,5 16:30 – 18:00 → 1,4 18:00 – 22:00 → 1,3 22:00 – 00:00 → 1,35
Modo Operação 1 (€/dia)	247 €	194 €	204 €
Modo Operação 2 (€/dia)	271 €	249 €	242 €
Estimativa de poupança utilizando o modo de operação mais económico (€/ano)	8 760 €	20 075 €	13 870 €

O aumento de 1 mg/L na taxa de tratamento de ozono, assumindo um determinado caudal de água e concentração de gás, representa um acréscimo de aproximadamente 0,30 - 0,40 €/h.

Comparando a eficiência dos dois novos geradores (CL302 B e CL302 C), constata-se que o Gerador CL302 C é mais eficiente, quer em consumo de energia quer em consumo de oxigénio. Comparando a eficiência dos dois equipamentos novos (CL302 B e CL302 C) com o gerador antigo (CL302 A), confirma-se maior eficiência nos equipamentos adquiridos, apesar da diferença entre os consumos específicos de energia e oxigénio serem pouco significativa.

6. Conclusões

Durante o período de estudo, a água bruta captada no rio Cávado e posteriormente tratada na ETA de Areias de Vilar, segundo as classes de qualidade estabelecidas no Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto, insere-se para a maioria dos parâmetros na categoria A1. Contudo, apresenta menor qualidade no que respeita aos parâmetros pH (categoria A2 no ano de 2018), cheiro (pelo menos categoria A2 em todos os anos do estudo), azoto amoniacal (categoria A2 em todos os anos do estudo), coliformes totais (categoria A3 em todos os anos do estudo que apresenta dados) e fecais (categoria A3 em todos os anos do estudo que apresenta dados).

O teor de bactérias coliformes, *E. coli*, Enterococos, *Clostridium perfringens*, *Cryptosporidium* e *Giardia* possuem uma enorme variabilidade na água bruta, excedendo diversas vezes os limites de alerta definidos no PCO, evidenciando picos de contaminação microbiológica do meio hídrico.

À saída da ETA, a qualidade da água tratada cumpre a legislação. No período de estudo, praticamente todos os parâmetros cumprem os VP estabelecidos no Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro, o que comprova eficiência do processo, obtendo água para consumo humano de elevada qualidade. Apenas muito pontualmente foram ultrapassados os VP, verificando-se incumprimento nos parâmetros *E. coli*, bactérias coliformes e *Clostridium perfringens*.

Na água tratada, em todo o período de estudo, o parâmetro dureza não respeita o valor recomendado pelo Decreto-lei nº 152/2017, de 7 de dezembro.

Após a instalação dos novos geradores, o ozono residual tem sido detetado à saída das TPO. No entanto, atendendo ao número reduzido de resultados analíticos disponíveis, será precoce comparar e retirar conclusões relativamente a esta alteração efetuada na linha de tratamento. Pela mesma razão, deverá fazer-se uma análise reservada da ER referente aos parâmetros microbiológicos com os novos geradores de ozono. Além disso, esses resultados coincidem com o período de ensaio e arranque dos equipamentos, podendo não traduzir a realidade.

Relativamente ao consumo específico do oxigénio, constata-se incoerência nos resultados obtidos em todo o período de estudo, possivelmente derivado da metodologia utilizada na quantificação do consumo mensal do reagente. Deverá ser analisada a possibilidade de integrar na instalação medidores de caudal de oxigénio, viabilizando monitorização contínua dos consumos.

O consumo específico de energia elétrica verificada na etapa de pré-oxidação anteriormente à instalação dos novos geradores de ozono foi (em média) $0,0103 \pm 0,0003$ kW/m³. Posteriormente, verificou-se um aumento do consumo específico de energia, justificado pelo arranque e período de ensaio dos novos equipamentos.

Os ensaios realizados aos geradores de ozono, permitiram obter curvas de produção de ozono para cada um dos equipamentos. Esta informação sustenta a tomada de decisão, relativamente ao modo de operação do processo de pré-oxidação com ozono. Do ponto de vista operacional e económico, é mais vantajoso operar com menor caudal de ozono e maior concentração. Perante caudais elevados de tratamento e situações mais exigentes de qualidade de água bruta, a operação com dois geradores de ozono evidencia-se mais vantajosa.

A análise comparativa de eficiência dos três equipamentos permitiu concluir que o Gerador CL302nC é o mais eficiente. O gerador antigo apresenta consumos, e consequentemente custos totais de produção mais elevados, sendo a sua seleção para operação a última escolha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas do Norte. Manual de Acolhimento (2010).

Albrektienê, R. A., Rimeika, M., Zalieckienê, E., Šaulys, V., Zagorskis, A. (2012). Determination of Organic Matter by UV Absorption in the Ground Water. *Journal of Environmental Engineering and Landscape*. Volume 20 – Issue 2: 163-167.

Alves, C. (2005). *Tratamento de Águas de Abastecimento*. Publindústria, Edições Técnicas. Porto.

Barreiros, C. (2009). Riscos para a saúde humana associados a exposição a *Clostridium perfringens* – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Branco, A. J. C. L. (2007). *Novos Paradigmas para a Gestão da Água e dos Serviços de Água e Saneamento: o Caso de Portugal* (Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente - Universidade de Lisboa).

Brito, A. G., Oliveira, J. M., Peixoto, J. M. (2010). *Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial: Elementos Teórico-práticos*. Engenho e Média, Lda. | Grupo Publindústria. Porto.

Castro, I. L. R. (2015). *Elaboração de Ferramentas para Avaliar a Eficiência de Tratamento de uma ETA – ETA de S. Jorge*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real).

Cavalheiro, C. F. N. (2005). *Estudo da hidrodinâmica do processo de ozonização da ETA de Lever*. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto).

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Alumínio. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica *Clostridium perfringens*. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Dureza. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Enterococos. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Nitratos. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Oxidabilidade. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica pH. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Comissão Especializada da Qualidade da Água. (2012). Ficha Técnica Turvação. Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Água (APDA)

Decreto-Lei nº 152/2017, de 7 de dezembro. Diário da República nº 235/2017, Série I de 2017-12-07. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de agosto. Diário da República nº 176/1998, Série I-A de 1998-08-01. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Diretiva 91/676CEE, do Conselho, de 12 de dezembro de 1991. Diretiva Nitratos.

EPAL. (2015). Ficha Informativa – Dureza. *Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A.* Consultado em 15/07/2019, disponível em <https://www.epal.pt/EPAL/docs/default-source/agua/ficha-dureza.pdf?sfvrsn=2>

ERSAR. (2019). Controlo da Qualidade da Água. *Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.* Consultado a 3/07/2019, disponível em <http://www.ersar.pt/pt/o-que-fazemos/controlo-da-qualidade-da-agua>

Fregonisi, B. M., Sampaio, C. F., Ragazzi, M. F., Tonano, K. A. A. T., Segura-Muñoz, S. I. (2012). *Cryptosporidium e Giardia*. desafios em águas de abastecimento público. *O Mundo da Saúde*, 36(4):602-609

Gomes, A. M. C. F. (2016). *Análise da evolução da qualidade da água do rio Cávado na última década e respetivos impactes na operação da ETA de Areias de Vilar.* (Dissertação de Mestrado em Engenharia Biológica. Universidade do Minho).

Gomes, S. R. A. (2016). *Análise paramétrica da eficácia da etapa de pré-tratamento numa Estação Tratamento de Água. Caso-Estudo: ETA de Areias de Vilar.* (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Universidade do Porto).

IPMA (2019). Boletins climatológicos. *Instituto Português do Mar e da Atmosfera*, consultado em 3/10/2019, disponível em: <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&cmbAno=2019&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=2019>

Le,N.L., Nunes, S. P. (2016) Materials and membrane technologies for water and energy sustainability. *Sustainable Material and Technologies*, 7º: 1-28.

Mendes, B., Oliveira, J. F. S. (2004). *Qualidade da água para consumo humano.* LIDEL – Edições Técnicas Lda. Lisboa.

Sousa, E. R. (2001). *Noções sobre a qualidade da água /Parâmetros de caracterização de uma massa de água.* Instituto Superior Técnico. Lisboa

José, S. S., Mestre, A. S., Silva, S. P., Cardoso, A. S., Rebelo, H. R., Carvalho, A. P. (2016). *Remoção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em águas utilizando subprodutos da indústria da cortiça.*

Matos, A. (2008). Riscos para a saúde humana associados a exposição a bactérias coliformes – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Matos, A. (2009). Riscos para a saúde humana associados a exposição a *E. coli* – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Matos, A. (2009). Riscos para a saúde humana associados a exposição a Enterococos – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Melo, C. S. T. (2018). *Avaliação da qualidade da água da captação e do sistema de abastecimento de Fagilde, Viseu*. (Relatório de Estágio de Mestrado em Tecnologias Ambientais. Instituto Politécnico de Viseu).

Nogueira, A. J. M. (2007). *Qualidade microbiológica e química das águas de consumo humano do Distrito de Bragança*. (Dissertação de Mestrado em Química e Qualidade dos Alimentos. Universidade de Aveiro).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a alumínio – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a cheiro e sabor – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a cor – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a *Cryptosporidium* – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a *Giardia* – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. L. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a microcistinas – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Prado, E. (2010). Riscos para a saúde humana associados a exposição a pH – Nota Técnica. Administração Regional de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo (arslvt).

Quintela, S. I. S. (2016). *Qualidade da água para consumo humano: riscos associados à presença de biofilmes em torneiras de espaços escolares*. (Dissertação de Mestrado em Higiene e Segurança nas Organizações. Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto Instituto Politécnico do Porto).

RELACRE. (2011). Determinação de cheiro e sabor na água para consumo humano. *Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal*. Consultado em 15/10/2019, disponível em http://www.relacre.pt/assets/relacreassets/files/CTRAguas_NT01_2011.pdf

Rosa, M., Vieira, P., Menais, J. (2009). *O Tratamento de Água para Consumo Humano face à Qualidade da Água de Origem*. Lisboa: Europress, Lda.

Simas, L, Gonçalves, P., Lopes, J. L., Alexandre, C. (2005). *Controlo da Qualidade da Água para Consumo Humano em Sistemas Públicos de Abastecimento*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos.

SNIAmb. (2019). *Sistema Nacional de Informação de Ambiente*. Consultado em 15/07/2019, disponível em <https://sniamb.apambiente.pt/>

Trojan UV. (2019). *Trojan Uv Water Confidence*. Consultado em 22/07/2019, disponível em <https://www.trojanuv.com/applications/drinkingwater>

United States Environmental Protection Agency. (1999). *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual*. EPA. USA.

Vieira, J. M. P., Duarte, A. A. L. S., Pinho, J. L. S. (n.d.). *Aplicação de um Modelo de Qualidade da Água do rio Cávado ao Estudo do Impacto da Captação de Água de Areias de Vilar*

ANEXO I – Processo de tratamento realizado na ETA de Areias de Vilar

Linha Líquida

○ Captação

A captação de água bruta é efetuada no rio Cávado, a jusante do aproveitamento hidroelétrico de Penide. Este sistema de captação é denominado como Estação Elevatória 01 (EE01, Figura 9) e é constituído por quatro bombas submersíveis com capacidade unitária de 0,95 m³/s). A água é enviada para o Reservatório de Água Bruta (RAB, Figura 9), que tem uma capacidade máxima de 150 000 m³ e se encontra dividido em duas células. De forma a garantir permanente circulação da água, e evitando possível eutrofização da mesma, cada célula possui uma chicana. Este reservatório de armazenagem tem como objetivo garantir alimentação contínua à ETA em caso de paragem de captação, devido a possíveis avarias, excesso de matérias em suspensão na água, e ocorrência de períodos de poluição.

Através da Estação Elevatória 02 (EE02, Figura 9), também esta constituída por quatro bombas submersíveis de eixo vertical e capacidade unitária de 0,95 m³/s, a água é elevada do RAB e direcionada por uma tubagem única para a Estação de Tratamento. A ETA pode assim funcionar com um caudal a variar entre 1 800 m³/h e 7 500 m³/h.

Atualmente existem duas linhas de tratamento (LT), Linha de Tratamento 1 e Linha de Tratamento 2, podendo a ETA operar apenas com uma das linhas ou com as duas em simultâneo. Esta segunda hipótese apenas ocorre em períodos em que os consumos de água aumentam significativamente (geralmente períodos de verão ou de temperatura ambiente mais elevada). Uma vez que a sequência de operações unitárias é igual nas duas linhas de tratamento, optou-se por representar apenas uma das linhas no Fluxograma da Figura 9, de forma a simplificar a leitura. Cada linha de tratamento inclui as etapas de pré-oxidação, remineralização e coagulação/floculação, sendo a água posteriormente reunida num só canal e repartida de forma equivalente para as restantes etapas (denominada de Linha de Tratamento Comum).

- Pré-oxidação

Em cada linha de tratamento, a água bruta irá alimentar uma torre de contacto com ozono (O_3), onde ocorre a primeira etapa de tratamento a pré-oxidação. A injeção de ozono realiza-se através de difusores porosos cerâmicos que se encontram instalados na base de cada torre de pré-oxidação (TPO, Figura 9). O reagente adicionado é produzido localmente em geradores de ozono.

Esta etapa é responsável pela melhoria das características organoléticas (cor, cheiro e sabor), oxidação de poluentes existentes na água, de matéria orgânica, de micropoluentes (tais como fármacos, fragâncias e desreguladores endócrinos) e materiais em solução (ferro e manganês). Remove também pesticidas, e é responsável por uma primeira fase de desinfecção, reduzindo de forma substancial a microbiologia da água bruta. Permite, ainda, a destruição de microalgas e a redução do potencial de formação de organoclorados (compostos cancerígenos).

- Remineralização

A remineralização consiste em alcançar o equilíbrio calco-carbónico da água, adicionando conjuntamente leite de cal e dióxido de carbono (CO_2). Após a pré-oxidação, a água de cada TPO é conduzida a uma Câmara de Chegada (CCh, Figura 9), onde ocorre injeção de leite de cal. Seguidamente a água entra numa Torre de Contacto com CO_2 (TCCO₂, Figura 9), onde ocorre injeção de CO_2 em contracorrente, através de difusores instalados no fundo do tanque.

- Coagulação - Flocculação

A água de cada um dos TCCO₂ segue depois para uma Câmara de Mistura Rápida (CMR, Figura 9), dotada com um agitador de turbina para garantir uma rápida mistura dos reagentes químicos com a água a tratar. Nesta etapa a destabilização dos colóides é conseguida através da adição de um coagulante (neste caso em particular trata-se de policloro sulfato básico de alumínio), que promove a redução das forças repulsivas entre as partículas em suspensão e sua posterior agregação, É também adicionado carvão ativado em pó, que através da adsorção, elimina substâncias indesejadas na água, nomeadamente as associadas ao cheiro e sabor. Elimina igualmente micropoluentes e pesticidas.

A água proveniente das duas Câmaras de Mistura Rápida é reunida num só Canal de Repartição de Caudais (CREPAC, Figura 9) indo alimentar diretamente os decantadores (Dec, Figura 9). À entrada de cada decantador é injetado um floculante (polieletrólito) o qual otimiza o processo de formação de flocos.

Na floculação, ao contrário da coagulação, a mistura dos reagentes funciona em regime de baixa agitação.

- Decantação

A decantação consiste na separação das fases sólida e líquida, por deposição dos flocos em suspensão. Na ETA de Areias de Vilar existem quatro decantadores lamelares do tipo *Pulsator*. Cada decantador é constituído por um tanque de fundo plano, comportando na sua base uma série de coletores perfurados que permitem a introdução de água bruta uniformemente sobre o fundo do aparelho. A água clarificada é descarregada pelo topo do tanque, e as lamas em excesso são encaminhadas para o fundo do decantador, sendo posteriormente removidas através de quatro válvulas automáticas de purga de lamas. Os flocos que não tenham decantado irão depositar-se nas paredes inferiores até formarem pequenos depósitos com peso suficiente que permita o seu deslizamento em direção ao leito de lamas no fundo do decantador.

- Filtração

A água decantada proveniente dos quatro decantadores é descarregada das caleiras gerais de recolha dos decantadores (canal de água decantada, CAD, Figura 9) para a caleira geral de distribuição aos filtros, sendo então uniformemente distribuída por seis filtros (Filt, Figura 9) de areia a caudal constante. Após entrar nos filtros, a água atravessa a camada filtrante de areia, onde os sólidos ficam retidos. O principal objetivo da filtração é remover partículas ainda existentes na água decantada, podendo também reduzir o número de microrganismos. A água sai dos filtros em direção à Cisterna de Água Filtrada (CAF, Figura 9). Parte desta água é direcionada para diversas operações: lavagem de filtros, diluição dos saturadores de água de cal (utilizados na etapa final de correção do pH), refrigeração dos ozonizadores e arraste de cloro na etapa de desinfecção.

Quando um filtro fica colmatado procede-se à sua lavagem. A lavagem é feita por injeção de ar e de água. Apenas se procede à lavagem de um filtro de cada vez. A água utilizada para lavagem dos filtros de areias é recolhida numa caleira geral que vai comunicar com duas cisternas de recolha. Daí é encaminhada para as CMR (recirculação de água).

- Desinfeção

A água proveniente da CAF entra em dois Tanques de Contacto com Cloro (TCCI, Figura 9) onde é injetado cloro à entrada, onde por intermédio de clorómetros, é injetado cloro à entrada. No processo de desinfeção final é pretendida destruição ou inativação dos microrganismos patogénicos eventualmente ainda existentes na água. O cloro garante a existência de um valor residual de desinfetante ao longo do sistema de adução.

- Ajuste final de pH

À saída de cada TCCI é injetada água de cal para correção final de pH da água tratada, diminuindo o seu carácter agressivo. A água tratada é direccionada para os Reservatórios de Água Tratada (RAT, Figura 9), com capacidade total de armazenagem de 20 000 m³ de água. De seguida, através da Estação Elevatória 1 (EE1, Figura 9), a água é elevada para o sistema adutor, distribuindo água para toda a rede de abastecimento.

Linha Sólida

As lamas provenientes das purgas dos decantadores e as lamas de cal provenientes dos saturadores de cal, são recolhidas num poço de bombagem designado por “Estação Elevatória de Lamas” (EEL, Figura 9). Através de duas bombas submersíveis, as lamas existentes na EEL são direccionadas para os espessadores (Esp, Figura 9) de lamas onde é adicionado polímero para promover a decantação das lamas.

Através de válvulas automáticas, as lamas espessadas seguem depois para a Cisterna de Equalização de Lamas (CEL, Figura 9), onde a concentração de lamas é superior. As lamas são enviadas para uma ou duas centrífugas (Cent, Figura 9), consoante o volume de lamas a tratar. Aqui decorrerá o processo de desidratação de lamas, *i.e.* a separação das fases sólida e líquida. Neste processo é adicionado polímero para promover a separação dos sólidos.

A lama desidratada cai por vazadouro para dois contentores, sendo recolhida por entidades licenciadas e encaminhadas para aterro sanitário ou compostagem. É retirada uma amostra para fazer determinação da matéria seca. A água clarificada é reintroduzida no RAB.

ANEXO II – Comparação entre os limites (alerta e críticos) definidos no PCO com os VP definidos no Decreto-Lei nº152/2017, de 7 de dezembro, para diversos parâmetros

Tabela A1: Limites de Alerta e Limites Críticos definidos no PCO para diversos parâmetros, e VP definido no DL nº152/2017, de 7 de dezembro

Parâmetro	Unidade de Medida	LA	LC	VP
Cor	mg/L PtCo	3	20	20
Turvação	NTU	0,2	1	4
pH	Escala de Sorensen	]7,5;8,2[	]6,5;9[	]6,5;9,5[
Condutividade	µS/cm a 20°C	]80;140[	]50;190[	2 500
Manganês	mg/L	30	50	50
Alumínio	µg/L	45	200	200
Azoto amoniacal	mg/L	0,10	0,50	0,50
Nitratos	mg/L	10	50	50
Nitritos	mg/L	-	0,50	0,50
Oxidabilidade	mg/L O ₂	2	5	5
Bactérias coliformes	N/100 mL	-	0	0
<i>E. coli</i>	N/100 mL	-	0	0
Enterococos	N/100 mL	-	0	0
<i>Clostridium perfringens</i>	N/100 mL	-	0	0

LA = limite de alerta

LC = limite crítico

VP = valor paramétrico

ANEXO III - Lista de parâmetros de qualidade da água monitorizados na linha de tratamento na ETA de Areias de Vilar

Tabela A2: Parâmetros monitorizados ao longo do processo de tratamento da linha líquida na ETA de Areias de Vilar pela equipa de exploração e pelo LabAdNorte

ESTRUTURA	Medidores em Linha (em tempo real)	Equipa de Operação (ronda diária das 8:00h)	Equipa de Operação (ronda diária das 00:00h, 04:00h, 12:00h, 16:00h, 20:00h)	LabAdNorte
RAB	Azoto Amoniacal pH Temperatura Turvação	Azoto amoniacal Condutividade pH Temperatura Turvação		Azoto amoniacal Bactérias coliformes Carbono orgânico dissolvido Carbono orgânico total Clorofila a <i>Clostridium perfringens</i> Condutividade Cor Enterococos <i>Escherichia coli</i> Ferro Fosfatos Fitoplâncton Cianobactérias Manganês Oxidabilidade pH Temperatura Turvação UV 254
TPO 1/2	Ozono residual	Ozono residual		Bactérias coliformes Bromatos Enterococos <i>Escherichia coli</i> Ozono residual UV 254

Tabela A2: Parâmetros monitorizados ao longo do processo de tratamento da linha líquida na ETA de Areias de Vilar pela equipa de exploração e pelo LabAdNorte (Continuação)

ESTRUTURA	Medidores em Linha (em tempo real)	Equipa de Operação (ronda diária das 8:00h)	Equipa de Operação (ronda diária das 00:00h, 04:00h, 12:00h, 16:00h, 20:00h)	LabAdNorte
CMR 1/2	pH	pH		pH
CREPAC	Condutividade pH	Alcalinidade Condutividade pH Turvação	Alcalinidade Condutividade pH Turvação	Condutividade pH
Decantadores 1/2/3/4	Turvação	Turvação		
CAD		Alumínio Azoto amoniacal pH Turvação		pH Turvação UV 254
Filtros 1/2/3/4/5/6	Azoto amoniacal pH Turvação			
CAF		Alcalinidade Azoto amoniacal Condutividade pH Turvação		Alumínio Azoto amoniacal Bactérias coliformes Carbono orgânico dissolvido Condutividade Cor Enterococos <i>Escherichia coli</i> Nitratos pH Turvação UV 254
TCCI 1/2	Cloro residual livre à entrada Cloro residual livre à saída pH à saída	Cloro residual à entrada Cloro residual à saída pH Turvação	Cloro residual pH Turvação	Cloro residual livre à saída pH
Saída EE1	Condutividade Cloro residual pH Turvação	Alcalinidade Cloro residual Condutividade Temperatura Turvação	Alcalinidade Cloro residual	1,2-Dicloroetano Acrilamida Alumínio Antimónio Azoto Amoniacal

Tabela A2: Parâmetros monitorizados ao longo do processo de tratamento da linha líquida na ETA de Areias de Vilar pela equipa de exploração e pelo LabAdNorte (Continuação)

ESTRUTURA	Medidores em Linha (em tempo real)	Equipa de Operação (ronda diária das 8:00h)	Equipa de Operação (ronda diária das 00:00h, 04:00h, 12:00h, 16:00h, 20:00h)	LabAdNorte
Saída EE1				Bactérias coliformes Benzeno Benzo(a)pireno Bromatos Cheiro Cloro residual livre <i>Clostridium perfringens</i> Condutividade Cor <i>Cryptosporidium</i> Dureza total Enterococos <i>Escherichia coli</i> Ferro Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados HPA Fitoplâncton Cianobactérias Microcistinas <i>Legionella</i> Magnésio Manganês Nitratos Nitritos N° de colónias a 22°C N° de colónias a 37°C Oxidabilidade pH Sabor Sódio Temperatura Tetracloroeteno e Tricloroeteno THM Turvação UV 254 nm

HPA = Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
 THM = Trihalometanos

ANEXO IV – Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto (Tabela de parametrização por classes de qualidade)

Tabela A3: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de classificação da qualidade das águas superficiais destinadas à produção de água para consumo humano

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH, 25°C	Escala de Sorensen	6,5-8,5	-	5,5-9,0	-	5,5-9,0	-
Cor (após filtração simples)	mg/l, escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	µS/cm, 20°C	1 000	-	1 000	-	1 000	-
Cheiro	Factor de diluição, a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos (*)	mg/l NO ₃	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Fluoretos (1)	mg/l F	0,7-1,0	1,5	0,7-1,7	-	0,7-1,7	-
Cloro orgânico total extraível	mg/l Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*)	mg/l Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês (*)	mg/l Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l B	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
Cádmio	mg/l Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/l Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/l Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/l Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercurio	mg/l Hg	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
Bário	mg/l Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l SO ₄	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/l Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensoactivas (que reagem com o azul-de-metileno).	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratão, hexaclorociclo-hexano, dieldrina e outros).	µg/l	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigénio (CQO) (*)	mg/l O ₂	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio a (CBO ₅ , 20°C) (*)	mg/l O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/l N	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	-	1,00	1,50	2,00	(O) 4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm).	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100 ml	50	-	5 000	-	50 000	-
Coliformes fecais	/100 ml	20	-	2 000	-	20 000	-
Estreptococos fecais	/100 ml	20	-	1 000	-	10 000	-
Salmonelas		Ausência em 5 000 ml	-	Ausência em 1 000 ml	-	-	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (n.º 1 do artigo 10.º).

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de pouca profundidade e baixa taxa de renovação.

(1) Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas máximas diárias.

(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.

(3) Refere-se a um VMR.

VMR — valor máximo recomendado.

VMA — valor máximo admissível.

ANEXO V – Decreto-lei nº 152/207, de 7 de dezembro (Tabela de parametrização legal)

Tabela A4: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Microbiológicos)

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)	0	Número/100 ml.
Enterococos	0	Número/100 ml.

Tabela A5: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Químicos)

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Acrilamida	0,10	µg/l	Nota 1.
Antimónio	5,0	µg/l Sb	
Arsénio	10	µg/l As	
Benzeno	1,0	µg/l	
Benzo(a)pireno	0,010	µg/l	
Boro	1,0	mg/l B	
Bromatos	10	µg/l BrO ₃	Nota 2.
Cádmio	5,0	µg/l Cd	
Cianetos	50	µg/l CN	
Chumbo	10	µg/l Pb	Notas 3 e 4.
Cloreto de vinilo	0,50	µg/l	Nota 1.
Crómio	50	µg/l Cr	
Cobre	2,0	mg/l Cu	Notas 3 e 4.
1,2-dicloroetano	3,0	µg/l	
Epicloridrina	0,10	µg/l	Nota 1.
Fluoretos	1,5	mg/l F	
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP).	0,10	µg/l	Nota 11.
Merúrio	1,0	µg/l Hg	
Níquel	20	µg/l Ni	Notas 3 e 4.
Nitratos	50	mg/l NO ₃	Nota 5.
Nitritos	0,50	mg/l NO ₂	Nota 5.
Pesticida individual	0,10	µg/l	Notas 6, 7, 8 e 9.
Pesticidas — total	0,50	µg/l	Nota 10
Selénio	10	µg/l Se	

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Tetracloroetano e Tricloroetano.	10	µg/l	Soma das concentrações dos compostos especificados.
Trihalometanos (THM)	100 80 (ponto de entrega)	µg/l	Nota 12.

Tabela A6: Valores paramétricos estabelecidos apenas para efeitos de controlo da qualidade da água destinada ao consumo humano (Parâmetros Indicadores)

Parâmetro	Valor paramétrico	Unidade	Observações
Alumínio	200	µg/l Al	
Amónio	0,50	mg/l NH ₃	
Bactérias coliformes ...	0	N/100 ml	
Cálcio	-	mg/l Ca	Notas 1 e 2.
Carbono orgânico total (COT).	Sem alteração anormal	mg/l C	Notas 7 e 14.
Cheiro, a 25°C	3	Fator de diluição	
Cloretos	250	mg/l Cl	Nota 1.
Cloritos	0,7	mg/l ClO ₂	Nota 16
Cloratos	0,7	mg/l ClO ₃	Nota 16
<i>Clostridium perfringens</i> (incluindo esporos).	0	N/100 ml	Nota 5.
Condutividade	2 500	µS/cm a 20°C	Nota 1.
Cor	20	mg/l PtCo	
Desinfetante residual ...	-	mg/l	Nota 15.
Dureza total	-	mg/l CaCO ₃	Notas 1 e 4.
Ferro	200	µg/l Fe	
Magnésio	-	mg/l Mg	Notas 1 e 3.
Manganês	50	µg/l Mn	
Microcistinas — LR total	1	µg/l	Nota 12.
Número de colónias a 22°C	Sem alteração anormal	N/ml a 22°C	Notas 13 e 14.
Número de colónias a 36°C	Sem alteração anormal	N/ml a 36°C	Notas 13 e 14.
Oxidabilidade	5,0	mg/l O ₂	Nota 6.
pH	≥ 6,5 e ≤ 9,5	unidades de pH	Nota 1.
Sabor, a 25°C	3	Fator de diluição	
Sódio	200	mg/l Na	
Sulfatos	250	mg/l SO ₄	Nota 1.
Turvação	4	UNT ⁴	Nota 8.
Dose indicativa (DI) ...	0,10	mSv	Nota 11.
Radão	500	Bq/l	Nota 9.
Tritio	100	Bq/l	Nota 10.

Anexo VI – Concentrações médias anuais dos diversos parâmetros analisados ao longo do processo de tratamento

Tabela A7: Concentrações médias anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água ao longo da linha de tratamento

Parâmetro	Estrutura Operacional	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30 de junho)
Cor (mg/L PtCo)	RAB	3,7 ± 0,8	4,3 ± 1,0	5,4 ± 1,8	4,9 ± 1,2	4,0 ± 0,9	3,6 ± 0,8
	CAF	<2	<2	<3	<2	<2	<2
Turvação (NTU)	RAB	3,0 ± 2,3	2,0 ± 1,0	2,2 ± 1,7	1,8 ± 1,1	2,0 ± 1,1	1,7 ± 1,3
	CAD	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,3	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,6 ± 0,5
	CAF	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Temperatura (°C)	RAB	15,5 ± 3,8	16,2 ± 4,5	15,6 ± 4,0	13,9 ± 4,4	15,3 ± 3,9	13,5 ± 3,4
	CAF	15,9 ± 3,9	16,5 ± 4,5	15,9 ± 3,9	14,2 ± 4,4	15,6 ± 3,9	13,8 ± 3,5
pH (Escala de Sorensen)	RAB	6,8 ± 0,1	6,7 ± 0,1	6,7 ± 0,1	6,7 ± 0,1	6,5 ± 0,1	6,7 ± 0,1
	CMR	7,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,0 ± 0,1	6,9 ± 0,1
	CREPAC	7,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,1 ± 0,1	6,9 ± 0,1	6,9 ± 0,1
	CAD	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1
	CAF	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,2 ± 0,1	7,1 ± 0,1	7,0 ± 0,1	6,9 ± 0,1
Condutividade (µS/cm a 20°C)	RAB	39 ± 5	42 ± 6	37 ± 8	47 ± 13	36 ± 7	43 ± 7
	CREPAC	152 ± 5	150 ± 5	144 ± 6	139 ± 19	95 ± 8	95 ± 8
	CAF	153 ± 5	150 ± 5	145 ± 6	144 ± 14	95 ± 8	93 ± 7
Dureza (mg/L CaCO ₃)	Cap	7,6 ± 1,3	7,5 ± 1,3	8,6 ± 4,8	7,9 ± 3,2	8,7 ± 5,1	6,9 ± 1,0
Cálcio (mg/L)	RAB	2,2, ± 0,3	2,1 ± 0,4	2,1 ± 1,0	2,2 ± 0,4	-	-
Magnésio (mg/L)	RAB	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,6	0,6 ± 0,1	-	-
Manganês (mg/L)	RAB	-	-	-	0,017 ± 0,03	0,016 ± 0,04	0,012 ± 0,05
Alumínio (µg/L)	Cap	300 ± 400	300 ± 200	400 ± 120	200 ± 100	200 ± 100	200 ± 100
	CAF	20,5 ± 9,8	19,2 ± 6,9	24,1 ± 9,9	21,2 ± 12,6	31,6 ± 17,8	18,5 ± 9,2
Azoto amoniacal (mg/L)	RAB	-	0,28 ± 0,14	0,13 ± 0,09	0,33 ± 0,30	0,18 ± 0,12	0,39 ± 0,17
	CAF	-	<0,025	<0,05	<0,025	<0,025	<0,025

Tabela A7: Concentrações médias anuais e respetivo desvio padrão, no período de janeiro de 2014 a junho de 2019, de diferentes parâmetros de qualidade da água ao longo da linha de tratamento (Continuação)

Parâmetro	Estrutura Operacional	2014	2015	2016	2017	2018	2019 (até 30 de junho)
Nitratos (mg/L)	CAF	3,4 ± 0,7	4,0 ± 1,0	3,2 ± 0,9	5,3 ± 2,1	3,6 ± 1,3	4,7 ± 1,1
Nitritos (mg/L)	Cap	-	-	-	<0,10	<0,10	<0,10
Matéria Orgânica Oxidabilidade (mg/L O ₂)	RAB	1,5 ± 0,1	1,7 ± 0,5	1,8 ± 0,5	1,8 ± 0,3	<1,5	<1,5
Matéria Orgânica UV 254 (/cm)	RAB	0,034 ± 0,006	0,037 ± 0,006	0,037 ± 0,012	0,036 ± 0,007	0,033 ± 0,005	0,032 ± 0,003
	TPO	0,020 ± 0,005	0,021 ± 0,004	0,020 ± 0,010	0,020 ± 0,005	0,018 ± 0,005	0,017 ± 0,003
	CAD	0,009 ± 0,004	0,010 ± 0,003	0,010 ± 0,005	0,013 ± 0,005	0,009 ± 0,003	0,008 ± 0,002
	CAF	0,009 ± 0,003	0,009 ± 0,009	0,009 ± 0,007	0,010 ± 0,004	0,006 ± 0,002	0,007 ± 0,002
Bactérias coliformes (N/100 mL)	RAB	-	-	4 356 ± 3 677	6 039 ± 7 799	6 727 ± 7 257	7 370 ± 6 051
	TPO	-	-	15 ± 17	11 ± 11	20 ± 10	58 ± 30
	CAF	-	-	25 ± 26	44 ± 85	73 ± 77	0 ± 0
<i>E. coli</i> (N/100 mL)	RAB	59 ± 64	-	-	284 ± 373	580 ± 692	484 ± 527
	TPO	0 ± 1	-	-	0 ± 0	1 ± 1	4 ± 4
	CAF	0 ± 0	-	-	1 ± 1	0 ± 0	0 ± 0
Enterococos (N/100 mL)	RAB	131 ± 161	131 ± 196	135 ± 170	89 ± 133	178 ± 218	176 ± 196
	TPO	1 ± 1	0 ± 1	0 ± 1	1 ± 1	0 ± 1	3 ± 3
	CAF	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
<i>Clostridium perfringens</i> (N/100 mL)	RAB	1 656 ± 1 029	2 563 ± 1 240	2 132 ± 1 448	3 867 ± 2 044	2 912 ± 3 307	2 963 ± 1 561
<i>Cryptosporidium</i> (N/10 L)	Cap	3,1 ± 3,1	4,5 ± 2,9	3,7 ± 4,4	2,2 ± 1,7	1,3 ± 1,2	-
<i>Giardia</i> (N/10 L)	Cap	53 ± 45	68 ± 53	83 ± 155	56 ± 40	15 ± 18	-
Fitoplâncton total (n° células/mL)	RAB	4 482 ± 3 715	5 648 ± 4 120	4 941 ± 4 204	4 951 ± 2 086	1 932 ± 1 202	703 ^{a)}
Fitoplâncton cianobactérias (n° células/mL)	RAB	-	-	527 ± 769	715 ± 465	0 ± 0	0 ^{a)}

a) Apenas um resultado analítico.

Anexo VII – Gráficos Complementares

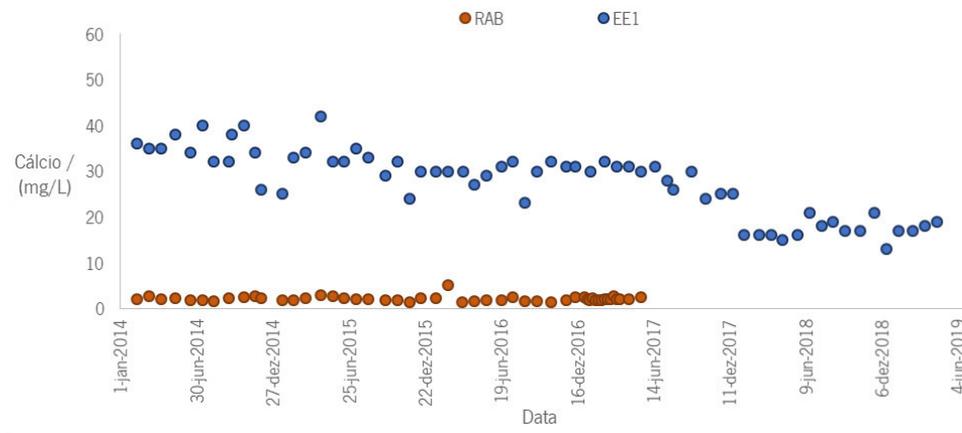


Figura A1: Variação da concentração de cálcio na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

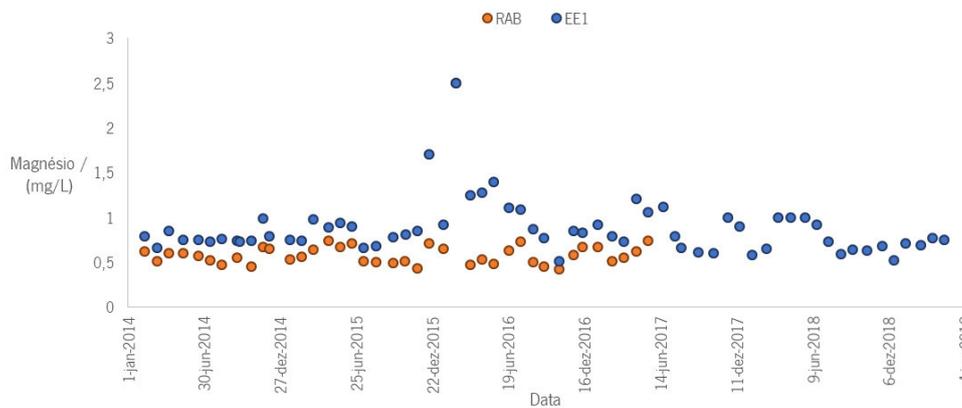


Figura A2: Variação da concentração de magnésio na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019

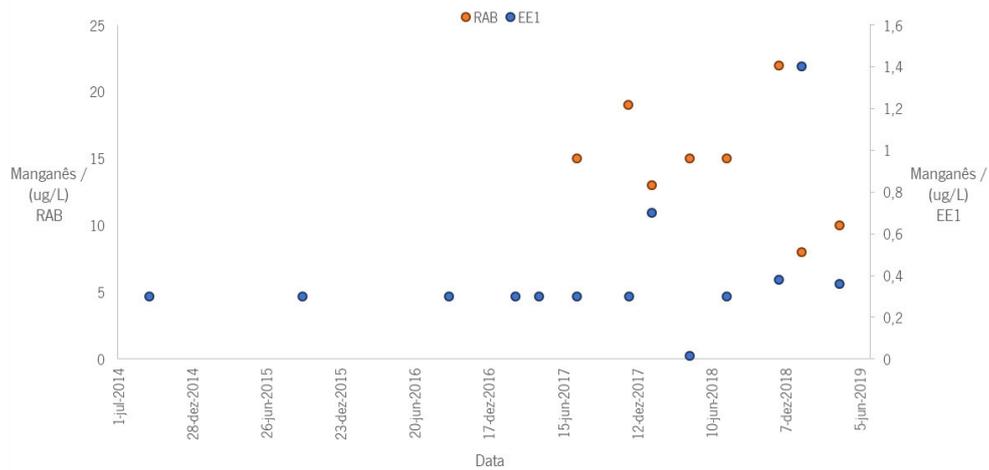


Figura A3: Variação da concentração de manganês na água no RAB (reservatório de água bruta) e na EE1 (estação elevatória 1, água tratada), desde janeiro de 2014 a junho de 2019.

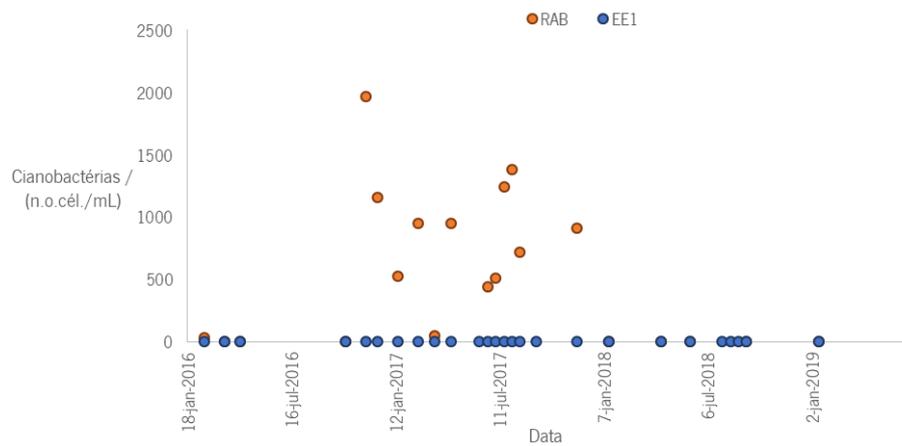


Figura A4: Variação da quantidade de cianobactérias na água na linha de tratamento desde janeiro de 2014 a junho de 2019. (RAB= reservatório de água bruta; EE1= estação elevatória 1, água tratada).

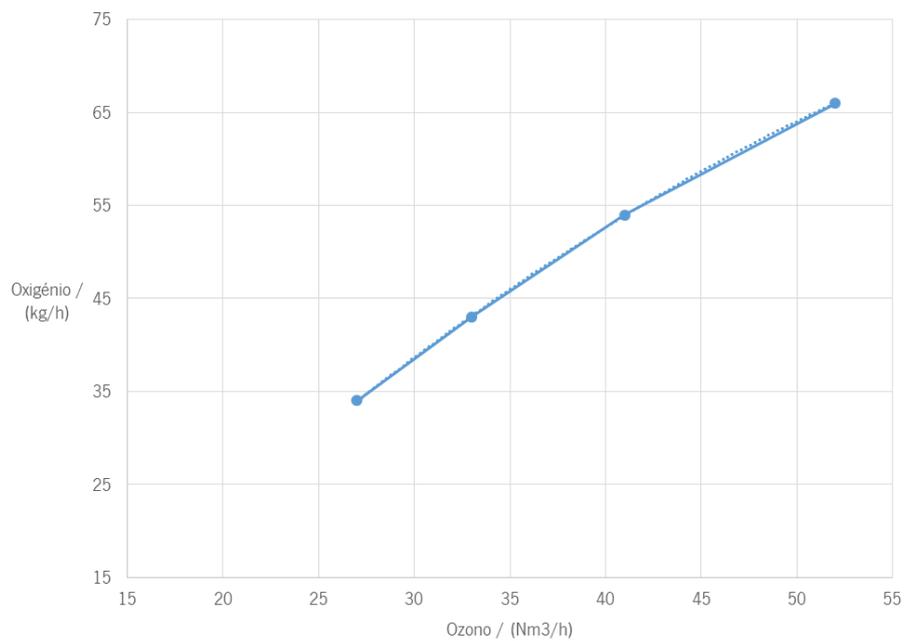


Figura A5: Relação entre o caudal de ozono e o caudal de oxigênio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.

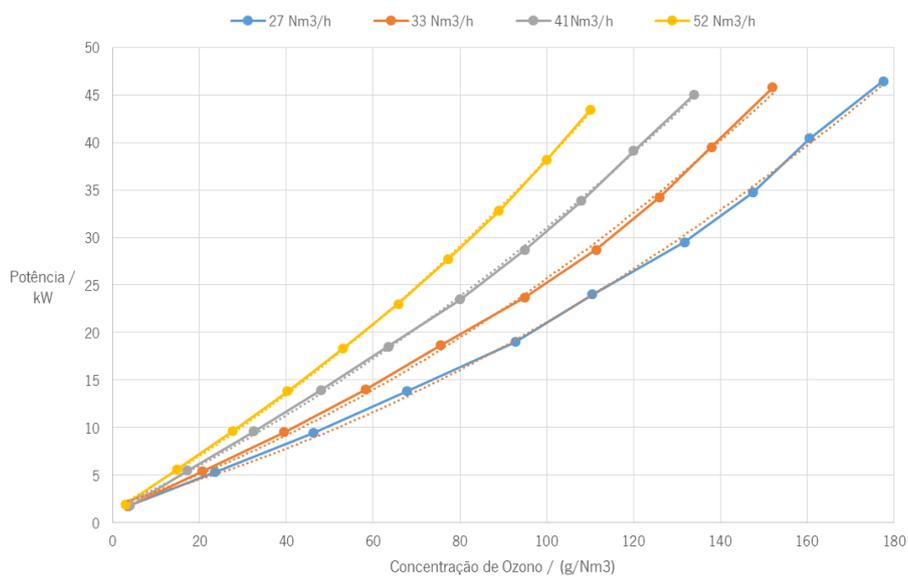


Figura A6: Relação entre a concentração de ozono e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.

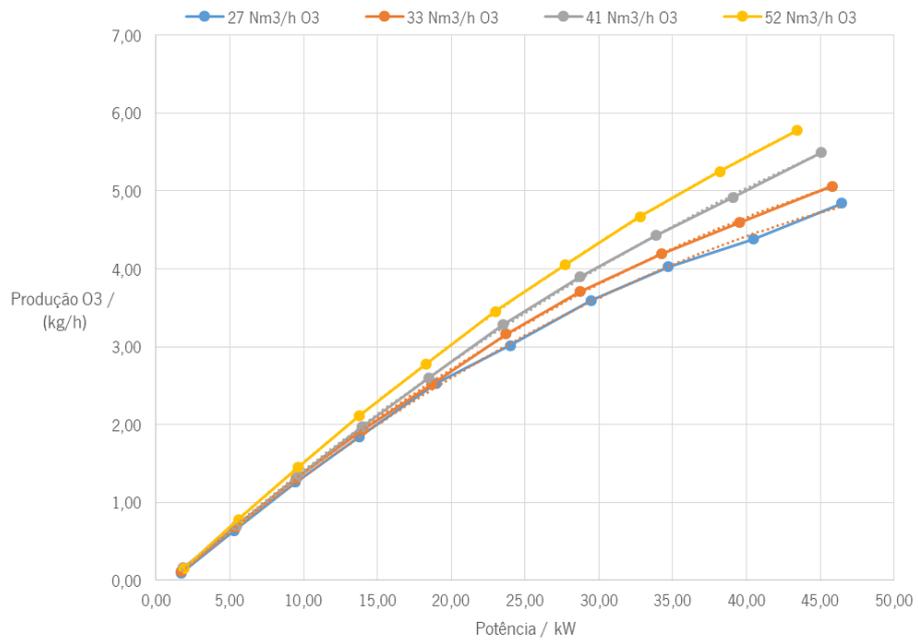


Figura A7: Relação entre a potência e a produção de ozônio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 A.

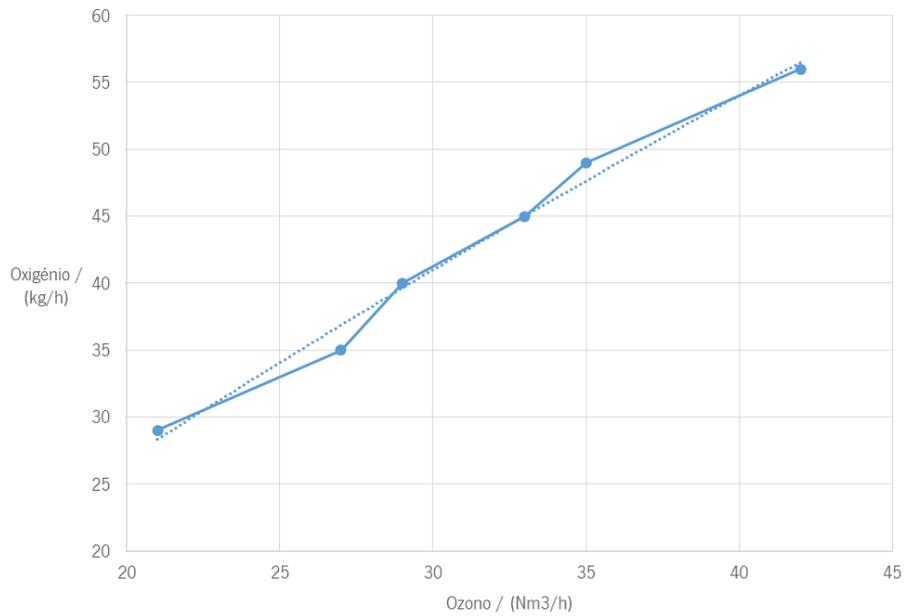


Figura A8: Relação entre o caudal de ozônio e o caudal de oxigênio, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.

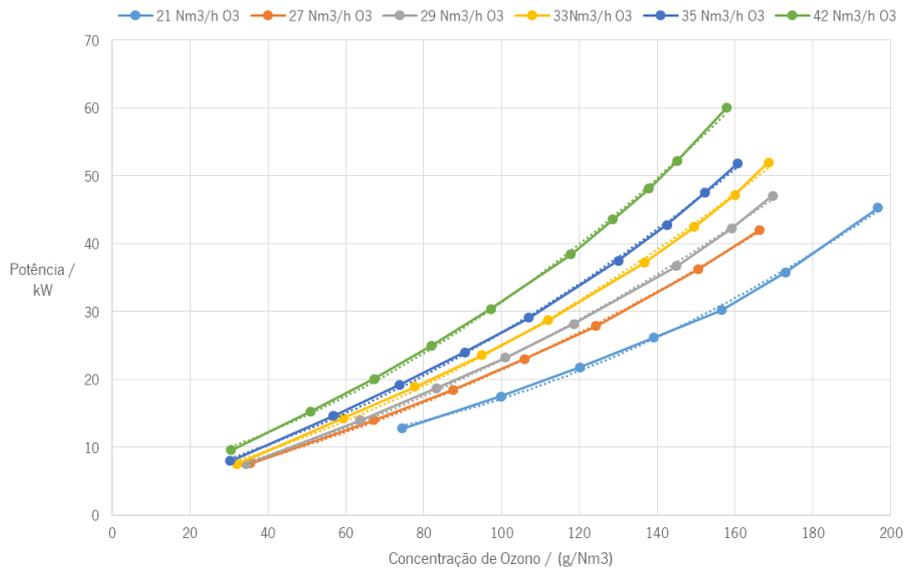


Figura A9: Relação entre a concentração de ozono e a potência, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.

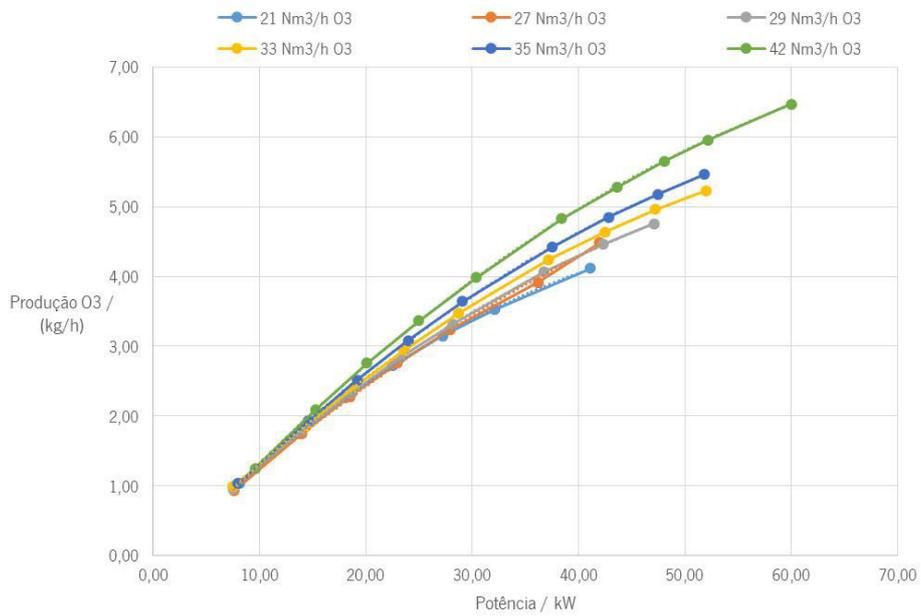


Figura A10: Relação entre a potência e a produção de ozono, obtida nos ensaios realizados ao gerador CL302 B.