DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE

DANIEL DIAS RAFAEL

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO AVANÇADO NA ETAR DO BARREIRO/MOITA

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – PERFIL ENGENHARIA SANITÁRIA

Universidade NOVA de Lisboa

Outubro, 2023

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E ENGENHARIA DO AMBIENTE

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO TRATAMENTO PRIMÁRIO AVANÇADO NA ETAR DO BARREIRO/MOITA

DANIEL DIAS RAFAEL

Licenciado em Engenharia do Ambiente

Orientador: Engenheiro José Pacheco,
SIMARSUL, S.A.

Coorientadora: Prof(a). Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral,
Universidade NOVA de Lisboa

Júri:

Presidente e Arguente: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho
Professor Associado FCT-NOVA

Vogal: Engenheira Ana Cristina da Silva Mendes dos Santos,
Simarsul/AdP. S.A.

Doutor Sérgio Brasil Abreu
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental -Ministério das Cidades, Brasil

Coorientador: Prof(a). Doutura Leonor Miranda Monteiro do Amaral
Professora Associada, FCT-NOVA

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE – PERFIL ENGENHARIA SANITÁRIA
Universidade NOVA de Lisboa

Outubro, 2023

Avaliação da Implementação do Tratamento Primário Avançado na ETAR do Barreiro/Moita

Copyright © Daniel Dias Rafael, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

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

“Intelligence is the ability of a species to live in harmony with its environment”

Paul Watson

Agradecimentos

Ao Engenheiro José Pacheco pela oportunidade, pelo apoio e pelo conhecimento transmitido ao longo da realização da minha dissertação. À equipa da SIMARSUL pela ajuda durante os ensaios laboratoriais.

À Professora Leonor Amaral pela orientação e apoio, não apenas durante a realização da dissertação, mas ao longo de todo o meu percurso académico na FCT-UNL.

A todo o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente pelo conhecimento e preparação para o futuro.

A todos os meus amigos, inclusive os que a FCT-UNL me proporcionou, que me suportaram ao longo de todo o meu percurso.

Aos meus colegas de trabalho pela experiência partilhada e pela amizade.

À minha namorada por todo o apoio e por todos os bons momentos e experiências partilhadas.

Por último, à minha família, principalmente à minha mãe e à minha irmã que são o meu suporte constante. E ao meu pai, que apesar de já não se encontrar connosco, o apoio é eterno.

Um grande obrigado.

Resumo

O tratamento de água tem um papel importante no que toca à preservação da qualidade das massas de água, sendo este um recurso cada vez mais importante. O estudo e otimização de novos processos de tratamento de água residual deve ser um tópico recorrente, considerando igualmente a redução da pegada de carbono associada a estes processos.

Assim, o presente estudo teve como objetivo entender qual o impacto da implementação de um Tratamento Primário Avançado (TPA) na Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) do Barreiro/Moita. Entendendo esse impacto, procurou-se estender o estudo às operações unitárias a jusante. Inicialmente, avaliou-se qual seria a melhor formulação de reagentes de coagulação/floculação, considerando ainda a possível recirculação de lamas em excesso ao TPA com o objetivo de auxiliar o processo. Para isso, foram realizados ensaios *Jar-Test* onde foram determinadas as eficiências de remoção para os parâmetros em estudo. Após os ensaios *Jar-Test*, foram selecionados 3 cenários que apresentaram melhores eficiências de remoção para diversos parâmetros.

O cenário 1 reflete a conjunção de coagulante/floculante que demonstrou melhores eficiências de remoção ao longo dos ensaios, 40 ppm de Cloreto Férrico como coagulante e 2 ppm de polímero líquido como floculante. Neste cenário obteve-se 79% de remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST) e 39% de remoção de Carência Química de Oxigénio (CQO). O cenário 2 considera a utilização da mesma conjugação de coagulante/floculante que no cenário 1, mas com a adição de lamas em excesso em conjunto com o coagulante no sentido de simular a recirculação ao TPA de 50% das lamas em excesso produzidas na ETAR do Barreiro/Moita. No cenário 2 obteve-se 80% de eficiência de remoção de SST e 40% de eficiência de remoção de CQO. O cenário 3 espelhou o cenário 2, mas simulando uma recirculação de 100% de lamas em excesso. No cenário 3 obtiveram-se eficiências de remoção de 84% e 45% para SST e CQO, respetivamente.

Realizou-se um estudo comparativo entre o cenário de referência da ETAR do Barreiro/Moita ao longo do ano de 2021 e os 3 cenários escolhidos. No cenário de referência as eficiências de remoção de SST e CQO foram 60% e 34% respetivamente. Deste modo, foram analisados e comparados os impactos da adoção destes cenários no tratamento primário, no tratamento biológico e na produção de biogás da estação. Procurou-se entender quais os benefícios energéticos, económicos e processuais associados à exploração de cada cenário em estudo.

Através dos resultados obtidos foi possível constatar que a adoção de um TPA pode contribuir para a redução dos consumos energéticos na ETAR do Barreiro/Moita. Contudo, existe um aumento dos custos operacionais. Em todos os cenários estudados existiram melhorias a nível energético e a nível ambiental, sendo o cenário 3 o que apresentou melhores resultados.

Assim, a utilização do TPA demonstrou ser uma boa alternativa ao tratamento primário convencional, representando um passo importante na caminhada até à neutralidade carbónica.

Palavras-chave: Tratamento Primário Avançado, Reagentes, Impactos Económicos, Consumos Energéticos, Pegada de Carbono

Abstract

Water treatment plays an important role in water conservation, which is an increasingly important resource. The study of new ways to optimize wastewater treatment processes should be a recurring topic, also considering the reduction of the carbon footprint associated with these processes.

The aim of this study was therefore to understand the impact of implementing a Chemically Enhanced Primary Treatment (CEPT) at the Barreiro/Moita Wastewater Treatment Plant (WWTP). Understanding the impact on the Primary Treatment, the objective was to extend the study to downstream treatment stages. Initially, the best formulation of coagulation/flocculation reagents was studied, also considering the possible recirculation of biological sludge of the CEPT in order to assist the process. Thus, *Jar-Test* trials were made to determine the removal efficiencies for the parameters under study. After the *Jar-Test* trials, three scenarios were selected which showed the best removal efficiencies for the various parameters.

The first scenario reflects the coagulant/flocculant combination that showed the best removal efficiencies throughout the tests, 40 ppm of Ferric Chloride as a coagulant and 2 ppm of liquid polymer as a flocculant. This resulted in 79% removal of Total Suspended Solids (TSS) and 39% removal of Chemical Oxygen Demand (COD). The second scenario considers the use of the same coagulant/flocculant combination as first scenario, but with the addition of biological sludge together with the coagulant to simulate the recirculation to the CEPT of 50% of the biological sludge produced at the Barreiro/Moita WWTP. The second scenario achieved 80% TSS removal efficiency and 40% COD removal efficiency. The third scenario mirrored the second scenario but simulating 100% recirculation of biological sludge. The third scenario achieved removal efficiencies of 84% and 45% for TSS and COD, respectively.

A comparative study was carried out between the Barreiro/Moita WWTP reference scenario throughout 2021 and the 3 chosen scenarios. In the reference scenario, the TSS and COD removal efficiencies were 60% and 34% respectively. The impacts of adopting these scenarios on the plant's primary treatment, biological treatment and biogas production were analyzed and compared. The objective was to understand the energy, economic and process impacts associated with the operation of each scenario under study.

The results obtained show that the adoption of a TPA can help reduce energy consumption at the Barreiro/Moita WWTP. However, there is an increase in operating costs. In all the scenarios studied, there were improvements in terms of energy and the environment, with scenario 3 showing the best results.

Thus, the use of CEPT has proved to be a good alternative to conventional primary treatment, and an important step on the road to carbon neutrality.

Keywords: Chemically Enhanced Primary Treatment, Reagents, Economic Impacts, Energy Consumption, Carbon Footprint

Índice

1. Introdução 1

1.1 Enquadramento 1

1.2 Objetivos 2

1.3 Estrutura da Dissertação 3

2. Revisão da Literatura 5

2.1 Processos de Tratamento de Água Residual 5

2.2 Tratamento Primário Avançado 7

2.3 Coagulação/Floculação 8

2.3.1 Coagulação 9

2.3.2 Floculação 9

2.4 Decantação 11

2.5 Tratamento Biológico 14

2.6 Digestão Anaeróbia 16

2.7 Casos de Estudo do Tratamento Primário Avançado 17

2.8 Vantagens e Desvantagens do Tratamento Primário Avançado 18

2.9 Consumo energético no tratamento de águas residuais 20

2.10 Métodos para Redução de Consumo de Energia em ETAR 21

3. Caso de Estudo 23

3.1 Diagrama Linear da ETAR do Barreiro/Moita 24

4. Materiais e Métodos 27

4.1 *Jar-Test* 27

4.2 Parâmetros 29

4.3 Ensaios Laboratoriais 30

5. Resultados e Discussão 43
5.1 Caracterização do Afluente e Efluente 43
5.2 Caracterização qualitativa das lamas primárias produzidas na ETAR 45
5.3 Melhor formulação de reagentes para otimizar a eficiência da decantação primária 45
5.4 Impactos do TPA e definição de cenários 51
5.4.1 Velocidades de sedimentação na Decantação Primária 54
5.4.2 Impactos no Tratamento Biológico 54
5.4.3 Impactos na produção global de lamas na estação 58
5.4.4 Impactos na Produção de Biogás 60
5.5 Análise Custo-Benefício dos cenários em estudo 63
5.5.1 Consumo de reagentes 63
5.5.2 Necessidades de Oxigénio no Tratamento Biológico 65
5.5.3 Ganhos Energéticos 65
5.6 Consumo energético 70
6. Conclusões 73
7. Perspetiva de Trabalhos Futuros 75
8. Referências Bibliográfica 79
Anexos 85

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Esquema simplificado do tratamento primário avançado 7
Figura 2.2 - Mecanismo de Compressão da dupla camada 10
Figura 2.3 - Mecanismo de Formação de pontes entre partículas 11
Figura 2.4 - Sistema lamelar em contracorrente 12
Figura 2.5 - Consumos Energéticos em ETAR 20
Figura 3.1 - Vista aérea da ETAR do Barreiro/Moita 23
Figura 3.2 - Legenda e Diagrama Linear simplificado da ETAR do Barreiro/Moita 26
Figura 4.1 - Equipamento *Jar-Test* utilizado nos ensaios 28
Figura 4.2 - Preparação de Polímero para o 1º Ensaio 32
Figura 4.3 - Aspeto final do 1º ensaio 33
Figura 4.4 - Provetas de decantação após transferência da água 34
Figura 4.5 - Provetas de decantação após 30 minutos 34
Figura 4.6 - Preparação de polímero para o 2º Ensaio 36
Figura 4.7 - Medições da altura de lamas após os 30 minutos de decantação 38
Figura 4.8 - Amostras de sobrenadante prontas para realizar as determinações 39
Figura 4.9 - Lamas em Excesso da ETAR do Barreiro/Moita 40
Figura 5.1 - Eficiências de remoção registadas no 1º Ensaio 46
Figura 5.2 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 2016 47
Figura 5.3 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 2024 47
Figura 5.4 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 21F 48
Figura 5.5 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 21F registada na primeira fase do 3º Ensaio 49

Figura 5.6 - Eficiências de remoção para diferentes percentagens de recirculação de lamas em excesso para uma dose de 2 ppm do polímero Ambifloc 21F 50
Figura 5.7 - Eficiências de remoção para diferentes percentagens de recirculação de lamas em excesso para uma dose de 3 ppm do polímero Ambifloc 21F 50
Figura 7.1 - Radiação horizontal anual na Europa (Solargis, 2021) 76
Figura 7.2 - Foto de satélite da ETAR do Barreiro/Moita 76
Figura C.1 - Medições das alturas de sedimentação no Ensaio 3 referentes à amostra branco (R), e as amostras referentes aos cenários 1, 2 e 3 88

Índice de Tabelas

Tabela 4.1 - Parâmetros Utilizados nos Ensaios *Jar-Test* 28

Tabela 4.2 - Adjuvantes utilizados nos diferentes ensaios 31

Tabela 4.3 - Identificação dos Polímeros a utilizar no 1º Ensaio 32

Tabela 4.4 Condições utilizadas no Ensaio 1 33

Tabela 4.5 - Identificação dos polímeros a utilizar no 2º ensaio 35

Tabela 4.6 - Volume de coagulante a utilizar no Ensaio 2 36

Tabela 4.7 - Condições utilizadas na 1ª fase do Ensaio 2 37

Tabela 4.8 - Condições utilizadas na 2ª fase do 2º Ensaio 37

Tabela 4.9 - Condições utilizadas na 1º fase do 3º Ensaio 41

Tabela 4.10 - Condições utilizadas na 2º fase do 3ª Ensaio 41

Tabela 5.1 - Médias mensais anuais relativas ao ano 2021 43

Tabela 5.2 Objetivos de tratamento - concentração dos principais parâmetros à saída da ETAR 44

Tabela 5.3 - Médias mensais anuais do ano 2021 relativas às cargas à saída do decantador primário 44

Tabela 5.4 - Médias mensais anuais das eficiências de remoção no tratamento primário relativas ao ano de 2021 44

Tabela 5.5 - Eficiências de remoção de carga poluente obtida nos ensaios *Jar-tes*t para os cenários escolhidos em comparação com as eficiências de remoção registadas no tratamento primário da ETAR do Barreiro/Moita em 2021 52

Tabela 5.6 - Estimativa das eficiências de remoção de CBO_5 a partir das eficiências de remoção de CQO obtidas para os cenários em estudo 53

Tabela 5.7 - Concentrações de SST e CBO_5 no efluente do TP 53

Tabela 5.8 - Estimativa das necessidades de oxigénio referentes ao tratamento biológico na ETAR do Barreiro/Moita em comparação com os cenários em estudo 55
Tabela 5.9 - Eficiências de remoção de CBO_5 exigidas no RB 56
Tabela 5.10 - Resumo do pH registado ao longos dos 3 ensaios realizados 56
Tabela 5.11 - Cargas afluentes ao tratamento biológico para os diferentes cenários em estudo 57
Tabela 5.12 - Rácios C:N:P registados no ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita e dos três cenários exploratórios em estudo 57
Tabela 5.13 - Estimativa de produção de lamas referentes aos cenários em estudo 58
Tabela 5.14 - Eficiências de remoção de CBO_5 no TP, carga de CBO_5 removida no tratamento secundário, produção de lamas em excesso e caudal de lamas em excesso 59
Tabela 5.15 - Estimativas das quantidades de lamas espessadas 60
Tabela 5.16 - Cargas e Caudais das águas resultantes das diferentes etapas de espessamento 61
Tabela 5.17 - Estimativa da quantidade de lamas mistas espessadas 61
Tabela 5.18 - Critérios utilizados na estimativa de produção de biogás 62
Tabela 5.19 - Estimativa de produção de biogás para os diferentes cenários em estudo 62
Tabela 5.20 - Reagentes utilizados nos cenários de estudo e os custos associados 63
Tabela 5.21 - Custos referentes ao consumo mensal de reagentes para os diferentes cenários em estudo 64
Tabela 5.22 - Potência de arejamento e custos associados para os diferentes cenários 65
Tabela 5.23 - Critérios utilizados na estimativa da produção de energia através do grupo de cogeração 66
Tabela 5.24 - Produção de biogás e a recuperação diária de energia correspondente 66
Tabela 5.25 - Energia produzida via biogás e poupança monetária associada 67
Tabela 5.26 - Redução de custos e consumos associados ao espessamento das lamas em excesso para os cenários 2 e 3 67
Tabela 5.27 - Consumo de energia e gastos monetários associados à Agitação na coagulação/floculação 68
Tabela 5.28 - Produção de lamas desidratadas e custos associados ao seu encaminhamento para destino final 69
Tabela 5.29 - Produção e caudal das escorrências da desidratação 69

Tabela 5.30 - Despesas/ganhos associados aos cenários em estudo em comparação com o cenário referência 69
Tabela 5.31 - Consumos de Energia referentes aos cenários em estudos em comparação com o cenário de referência 71
Tabela A.1 - Cargas afluentes à ETAR do Barreiro/Moita durante o ano 2021 85
Tabela B.1 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 1 86
Tabela B.2 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 2 86
Tabela B.3 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 3 87

Siglas e Acrónimos

AOR – Necessidades globais de Oxigénio

CBO_5 – Carência Bioquímica de Oxigénio

CO_2 – Dióxido de Carbono

CQO – Carência Química de Oxigénio

DPA – Decantação Primária Assistida

ETAR – Estação de Tratamento de Água Residual

Kg – Quilograma

MLSS – Sólidos Suspensos no Licor Misto

MLVSS – Sólidos Suspensos Voláteis no Licor Misto

MS – Matéria em Suspensão

N – Azoto

P – Fósforo

PTN – Condições Normais de Pressão e Temperatura

RB – Reator Biológico

SOTR – Razão de Transferência de Oxigénio

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

TP – Tratamento Primário

TPA – Tratamento Primário Assistido

1. Introdução

1.1 Enquadramento

É considerada água residual a água que foi afetada por uso doméstico, industrial ou comercial. A composição desta é maioritariamente água e apenas cerca de 0,1% corresponde a matérias orgânicas/inorgânicas e microrganismos. São estas componentes da água que se pretendem remover quando afluem à ETAR. Neste sentido, a água residual é naturalmente um recurso que não deve ser desvalorizado, sendo o seu tratamento bastante importante para que a sua devolução à natureza seja o mais "inofensiva" possível. A sua descarga para o meio recetor deve cumprir os requisitos mínimos de qualidade estipulados através do Decreto-Lei nº152/97.

A ausência de tratamento, ou o tratamento incorreto tem impactes no meio recetor e consequentemente na saúde publica, deteriorando a qualidade de um dos recursos naturais mais importantes, a água. Sendo um recurso em risco, é necessário desafiar e reinventar as formas de tratamento para que o espectro de potencial utilização de água residual tratada seja cada vez maior.

Para que seja possível devolver a água residual ao meio recetor sem impactes severos no mesmo, é necessário desenvolver diversas etapas de tratamento envolvendo processos físicos, químicos e biológicos. A concepção e dimensionamento de uma ETAR depende da carga a tratar, das propriedades exigidas ao efluente tratado e da localização da estação. É necessário estudar estes fatores para que a escolha da linha de tratamento seja o mais fundamentada possível, procurando utilizar os processos mais viáveis ambiental e economicamente para cada caso específico. A reabilitação de estações existentes é um tópico igualmente bastante importante, dando nova vida a ETAR eventualmente desadequadas por deterioração da infraestrutura ou por terem sido ultrapassadas as suas capacidades em termos quantitativos ou qualitativos. As reabilitações têm como objetivo fazer face às condições de degradação das estações devido ao seu elevado tempo de exploração, à alteração de cargas afluentes às estações ou até reaproveitamento de estruturas existentes para implementação de novas tecnologias.

Os processos de tratamento visam obter água residual tratada, mas ao longo do tratamento são igualmente gerados subprodutos. Entre outros, a maior parte deles são lamas e necessitam igualmente de tratamento para que seja possível o seu transporte e aproveitamento para a produção de fertilizante ou até para a produção de energia.

Sendo o tratamento de águas residuais um serviço indispensável numa sociedade moderna, é necessário estudar tecnologias capazes de tornar esta tarefa o mais eficiente e sustentável possível sem comprometer a qualidade do efluente final. É de grande interesse ambiental alcançar a neutralidade carbónica referente à exploração de ETAR. Através da adoção de tecnologias apropriadas e o reaproveitamento dos subprodutos do tratamento é possível desenvolver sistemas autossustentáveis energeticamente que cumpram os limites de descarga no meio recetor. Este é um dos grandes objetivos do tratamento de águas residuais.

O Tratamento Primário Avançado (TPA) é um processo que surge como potencial contribuidor para este objetivo, em substituição do tratamento primário convencional. Contemplando uma operação de coagulação/floculação seguida de uma decantação, proporciona uma maior remoção de cargas poluentes presentes. Contribuindo para reduzir a afluência destas cargas aos processos unitários seguintes promove a diminuição das exigências de arejamento no tratamento secundário, sendo este um dos grandes consumidores energéticos de uma ETAR. A maior remoção de carga poluente no tratamento primário leva à maior produção de lamas podendo estas ser aproveitadas para produzir energia.

A Estação de Tratamento de Águas Residuais do Barreiro/Moita serve os Municípios do Barreiro, Moita e Palmela e descarrega o seu efluente tratado na bacia do Tejo e encontra-se localizada no concelho do Barreiro. Esta estação apresenta disponibilidade estrutural para desenvolver uma etapa de TPA. Estima-se, neste sentido, que a utilização desta tecnologia poderá ter impactos positivos constituindo uma mais-valia o seu estudo e modelação.

1.2 Objetivos

O presente estudo académico tem como objetivo avaliar o impacto da introdução de um tratamento primário avançado na ETAR do Barreiro/Moita.

Esta oportunidade de desenvolvimento vem ao encontro da reutilização e reaproveitamento dos equipamentos e estruturas já existentes na estação. Atualmente a linha líquida paralela da estação não se encontra em funcionamento, criando assim a possibilidade de desenvolver um estudo relativo à utilização e otimização do tratamento primário.

Pretende-se entender quais as melhorias processuais que podem advir da introdução de um TPA bem como entender o seu impacto no consumo energético da estação. Para alcançar estes objetivos pretende-se desenvolver um estudo laboratorial a partir do qual serão definidos e estudados diferentes cenários exploratórios. Estes serão comparados ao longo do estudo entre si, e com um cenário de referência referente à ETAR do Barreiro/Moita no ano de 2021.

Por fim, tenciona-se compreender a viabilidade das diferentes soluções e a influência das mesmas na caminhada até ao objetivo de neutralidade energética.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos distintos. No capítulo 1 é feito o enquadramento do estudo, os principais objetivos em vista e a estrutura de dissertação utilizada.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica. Neste capítulo são introduzidos os tópicos explorados ao longo do presente estudo. Através destes torna-se mais fácil o seguimento de todo o estudo.

No capítulo 3 é feita a descrição da ETAR em estudo na presente dissertação.

O capítulo 4 remete para os materiais e métodos utilizados ao longo de todo o estudo. Este capítulo apresenta os ensaios laboratoriais, bem como os procedimentos associados.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos ao longo do estudo bem como a interpretação e comparação dos mesmos. Inicialmente são descritos os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais. A partir destes, são definidos diferentes cenários a serem analisados e comparados ao longo do estudo. Seguidamente, são caracterizados os impactos da aplicação do estudo à ETAR do Barreiro/Moita. Por último é feita uma análise de custo-benefício e dos impactos energéticos da aplicação dos cenários estudados.

O capítulo 6 expõe a conclusão do estudo e apresenta um breve resumo sobre os resultados obtidos.

O capítulo 7 sumariza vários tópicos a ter em conta em futuros estudos, envolvendo as temáticas abordadas na presente dissertação.

Por último, o capítulo 8 apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

2. Revisão da Literatura

2.1 Processos de Tratamento de Água Residual

Os processos de tratamento de água residual são desenvolvidos com o intuito de fazer face às condições da água residual, quer para descarregar no meio recetor, quer para a sua reutilização. Deste modo, é necessário saber quais os principais contaminantes presentes na água, para que os processos utilizados sejam eficazes e viáveis do ponto de vista económico.

Existem diversos constituintes da água residual a ter em conta no que diz respeito ao seu tratamento. Os sólidos suspensos, caracterizados pela matéria suspensa no afluente. Os materiais orgânicos mais ou menos facilmente biodegradáveis, que são maioritariamente avaliados como CBO_5, CQO, óleos e gorduras. A sua proliferação no meio aquático leva a uma diminuição das quantidades de oxigénio afetando assim os seres vivos aquáticos que dele dependem. Os organismos patogénicos, que representam perigo para os seres humanos sendo uma fonte de transmissão de doenças. Os nutrientes, que apesar de não representarem perigo aparente, quando em excesso no meio podem causar eutrofização. Os metais pesados, que ao fim de algum tempo de exposição e sendo estes bioacumuláveis acabam por se revestir de elevada perigosidade, nomeadamente porque os organismos vivos não são capazes de os eliminar (Muttamara, 1996). Logo, os processos de tratamento de água residual convencionais são constituídos por uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos com o intuito de remover os contaminantes existentes na água residual (Ribeiro, 2010).

O tratamento de água residual encontra-se dividido em fase líquida, fase sólida e fase gasosa. Convencionalmente, a fase líquida é iniciada por um tratamento preliminar que remete para um processo somente físico, com o objetivo de separar do efluente a maior quantidade de materiais possíveis que, devido ao seu tamanho e natureza, podem causar problemas aos processos seguintes. Podem ainda danificar infraestruturas de tratamento que não estejam aptas a receber materiais de grandes dimensões.

O tratamento primário, subsequente ao pré-tratamento, remete para a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis através de processos físicos ou, no caso de um tratamento primário

assistido, através de processos físico-químicos. Na generalidade, são removidos cerca de 60% de SST e 35% de CBO_5 (Duarte, 2011). Nesta fase, a matéria poluente é separada da água por sedimentação, ou seja, graças à ação da força da gravidade. A restante carga poluente, de natureza orgânica, que devido às suas dimensões reduzidas e consequente baixa densidade não sedimenta, ou porque se encontra dissolvida, necessita de processos biológicos adicionais aos físico-químicos para ser removida (Moreira, 2014).

O tratamento secundário constitui um processo biológico, em que são utilizados microrganismos para remover sólidos orgânicos e inorgânicos presentes na água residual proveniente do tratamento primário. No tratamento secundário são removidos aproximadamente 25-50% de CQO e 50-80% quer de CBO_5 quer de SST (Duarte, 2011). Os processos convencionais utilizados no tratamento secundário requerem sistemas de arejamento que são, geralmente, grandes consumidores energéticos das ETAR. Para promover a separação de fases é necessário efetuar uma decantação secundária.

Por último, o tratamento terciário que reflete um conjunto complementar de operações, usadas para remover carga poluente que não tenha sido removida no tratamento secundário e que, para cumprir o nível de tratamento exigido por Lei, obriga a implementação de tratamento terciário (Duarte & Fragoso, 2013). Este tratamento pode ser realizado através de operações físicas, biológicas ou químicas (Costa, 2013). Dependendo do destino do efluente final, o tratamento terciário pode ser materializado por uma desinfeção por UV, por uma filtração ou até mesmo por uma osmose inversa.

No tratamento da fase líquida existe a produção de lamas primárias e lamas em excesso que necessitam igualmente de tratamento. A fase sólida tem como objetivo principal espessar, estabilizar e desidratar. Existem diversos processos de tratamento de lamas consoante as características qualitativas e quantitativas das lamas.

O espessamento é utilizado para aumentar a concentração de sólidos nas lamas e reduzir o teor de humidade. Deste modo, existe uma redução do volume das lamas diminuindo o custo associado ao transporte e destino final, diminuindo a capacidade dos tanques/silos de armazenamento de lamas e ainda a redução de dosagem de químicos necessária para o seu condicionamento (Metcalf e Eddy, 2003).

A estabilização das lamas permite reduzir e mineralizar a matéria orgânica reduzindo assim os maus odores provenientes das lamas e a possibilidade de existência de agentes patogénicos perigosos para a saúde pública.

A digestão anaeróbia é utilizada no sentido de degradar a matéria orgânica na ausência de oxigénio livre a partir do qual é possível produzir biogás e, consequentemente, produzir energia.

A desidratação pretende reduzir ao máximo a quantidade de água nas lamas no sentido de reduzir o peso e o volume global das mesmas facilitando assim o seu transporte reduzindo o custo a este associado.

O tratamento gasoso tem como principal objetivo evitar a emissão de odores em diversas etapas ao longo de uma ETAR. Geralmente, esta etapa é realizada no tratamento preliminar e no

primário e ainda nos edifícios de tratamento da fase sólida, sendo estes suscetíveis à produção de odores. A extração do ar contaminado é feita através de sistemas de ventilação promovendo igualmente a renovação do ar. Após extraído, este pode afluir a uma etapa de desodorização recorrendo à utilização de reagentes.

Poderá também haver tratamento da fase gasosa relativamente ao biogás, caso a ETAR tenha um digestor anaeróbio com produção e aproveitamento do biogás.

2.2 Tratamento Primário Avançado

O Tratamento primário avançado (TPA) ou tratamento primário assistido quimicamente remete para a remoção de turvação, isto é, a remoção de sólidos em suspensão através dos processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação no sentido de otimizar o tratamento primário. Este tipo de decantação é utilizada com o objetivo de melhorar a sedimentação e aumentar as eficiências de remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes presentes na água a tratar. A otimização ocorre devido aos processos de coagulação/floculação, que com o auxílio de adjuvantes, aceleram o processo de agregação de partículas criando flocos maiores e mais densos que, consequentemente, levam ao aumento das velocidades de decantação. Esta técnica surge em alternativa ao tratamento primário convencional. Na figura 2.1 está representado um esquema simplificado de um TPA.

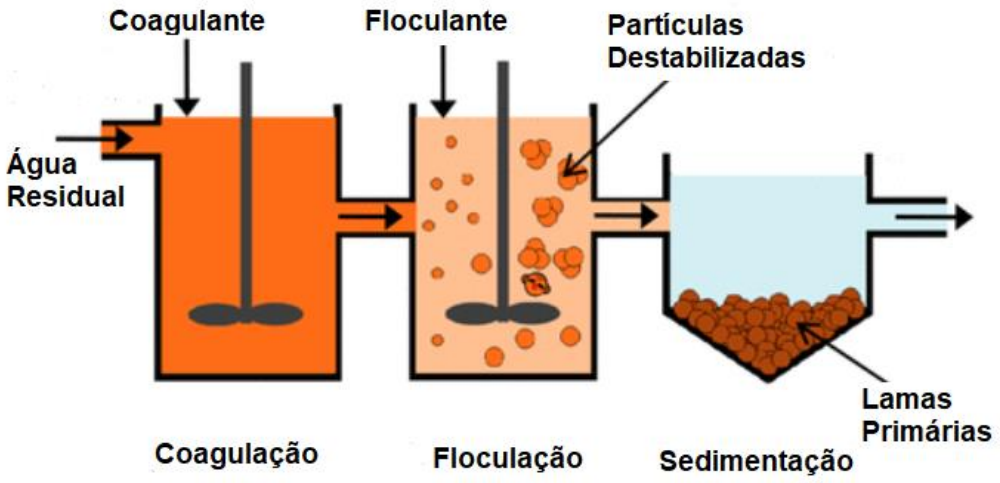


Figura 2.1 - Esquema simplificado do tratamento primário avançado (adaptado de Teh et al., 2016)

A aplicabilidade do TPA depende das características do afluente e das dimensões das partículas. Neste sentido, é indispensável a realização de ensaios pilotos ou *Jar-Test* com o intuito de entender qual a melhor conjugação de reagentes a utilizar e a sua aplicabilidade a cada caso em específico. É necessário analisar também o impacto que a utilização de um TPA tem no tratamento

primário e nas restantes operações a jusante, em comparação com um tratamento primário convencional (Feo et al., 2012).

O TPA pode ser considerado em reabilitações de ETAR, podendo ou não existir necessidade de intervenção estrutural. A sua aplicação considera-se potencialmente útil em estações com afluência de águas residuais industriais, localizadas em zonas turísticas ou com migração sazonal e em situações processuais em que existe um elevado F/M na operação de lamas ativadas (Feo et al., 2012).

Além disso, pode igualmente ser considerado na concepção de novas ETAR. O TPA, em comparação com uma decantação primária convencional, é materializado por órgãos de dimensões inferiores devido às eficiências de remoção superiores e à capacidade de operação com cargas hidráulicas igualmente superiores (Feo et al., 2012).

Assim, o presente estudo assenta na análise e otimização do TPA procurando obter um acréscimo das eficiências de remoção e aumento da velocidade de decantação das partículas numa fase inicial do processo de tratamento e, como consequência, a otimização das fases seguintes de tratamento. Deste modo, existe a redução de cargas afluentes aos processos a jusante do TPA e o aumento de produção de lamas primárias o que conduz a diversos benefícios para o sistema, como por exemplo, a redução dos consumos de energia no reator biológico e o aumento da produção de biogás na digestão anaeróbia. Estes fatores contribuem para uma aproximação aos objetivos de neutralidade energética da estação. Contudo, é necessário realizar diversos testes e estudos para compreender a aplicabilidade deste processo a cada caso particular.

2.3 Coagulação/Floculação

A matéria suspensa presente nas águas residuais apresenta cargas negativas na sua superfície, causando repulsão das partículas. Este fenómeno impede a aglomeração de partículas e consequentemente dificulta a sedimentação das mesmas (Cunha, 2017). Devido a este comportamento das partículas, é necessária a utilização de operações que invertam esta conduta promovendo uma melhor separação sólido-líquido.

A Coagulação/Floculação é a primeira etapa no processo de um Tratamento Primário Avançado. Esta tem um papel fundamental na remoção de microrganismos patogénicos, turvação e cor presentes na água (Ødegaard, 2000). A matéria orgânica suspensa, os microrganismos, as bactérias e os protozoários presentes nas águas residuais são potenciais causadores de problemas de saúde, sendo a sua remoção um dos grandes objetivos do tratamento de águas residuais (Davis & Edwards, 2014). Esta conjugação de operações (coagulação/floculação) favorece a agregação das partículas em suspensão formando neste sentido flocos maiores facilitando assim a sua sedimentação e posteriormente a sua remoção, com o auxílio ou não de reagentes (Matilainen et al., 2010).

2.3.1 Coagulação

A coagulação é um processo físico-químico de destabilização de partículas coloidais, que ocorre numa câmara de mistura rápida através da adição de coagulantes, favorecendo a sua colisão e consequente aglomeração (Metcalf & Eddy, 2014). A utilização de produtos químicos (coagulantes) como os sais de ferro e/ou alumínio e agitação rápida e constante causam uma redução das forças de repulsão eletrostáticas entre partículas com cargas negativas. O aumento da concentração de cargas positivas proveniente da adição de coagulante, causam um excesso de iões na camada difusa, resultando numa compressão da camada elétrica e redução de potencial elétrico das partículas. Sendo estas eletricamente neutras, as forças repulsivas são menores permitindo a agregação entre elas (Mourato, 2015).

As partículas coloidais apresentam uma elevada estabilidade que as mantém em dispersão. Esta estabilidade deve-se às forças superficiais sólido-líquido provocadas pela carga superficial. Deste modo, as partículas possuem uma dupla camada elétrica caracterizada pela superfície carregada da partícula que atrai iões de cargas opostas, predominando em relação aos iões de cargas idênticas que se repelem. Assim é formada uma camada difusa em torno da partícula (Bratby, 2016).

Para o tratamento de água residual, são utilizados coagulantes à base de Ferro ou Alumínio devido à sua carga positiva. Ao adicionar a uma solução aquosa formam-se hidróxidos metálicos sendo que a sua forma depende do pH da solução e da concentração doseada. São bastante utilizados o Sulfato Férrico ($Fe(SO_4)_3$), o Aluminato de Sódio ($NaAlO_2$) e o Cloreto Férrico ($FeCl_3$), sendo este último o utilizado no presente estudo já que é capaz de remover sulfuretos reduzindo a produção de odores ao longo das várias etapas de tratamento e evitando a formação de sulfureto de hidrogénio causador de corrosão. Normalmente são utilizados coagulantes metálicos devido ao seu baixo custo e à sua elevada disponibilidade e eficiência, mas existem também coagulantes orgânicos e inorgânicos.

2.3.2 Floculação

Como foi referido anteriormente a coagulação tem como objetivo a destabilização das partículas, promovendo a colisão entre as mesmas e o seu crescimento. Já a floculação promove a agregação das partículas destabilizadas ou formadas durante a destabilização. Contrariamente à coagulação, a agitação na floculação deve ser assegurada por agitação lenta no sentido de facilitar a colisão entre as partículas sem que sejam destruídos os flocos formados anteriormente. Assim, as partículas coloidais aumentam de tamanho e densidade, acelerando a sua decantação e consequentemente promovendo a separação liquido-sólido e, por conseguinte, uma melhor remoção de CQO, fósforo, turvação e SST (Diaz et al., 2012).

Existem dois tipos de floculação: A microfloculação ou floculação pericinética que remete para a agregação de partículas com diâmetro inferior a 1µm graças ao seu movimento térmico aleatório. A

macrofloculação ou floculação ortocinética é caracterizada pela agregação de partículas com diâmetro superior a 1µm em consequência de uma sedimentação diferenciada ou alteração do gradiente de velocidade (Metcalf & Eddy, 2014).

Os floculantes utilizados são geralmente polieletrólitos ou polímeros de cargas catiónicas, aniónicos ou não iónicos e podem ter origem sintética ou natural. Os polielétrolitos são macromoléculas compostas por diversos monómeros unidos por ligações covalentes. Assim, existe interação entre a superfície das partículas e o polímero, absorvendo-o ao longo da sua estrutura molecular de grandes ramificações, permitindo o aumento da eficiência de floculação e da decantação.

Os mecanismos subjacentes à coagulação/floculação que contribuem para a formação de flocos são:

a) Compressão da dupla camada

Consiste na adição de grandes quantidades de eletrólitos, que se infiltram na dupla camada das partículas coloidais, tornando-a mais densa e estreita e, deste modo, é reduzida ou eliminada a energia repulsiva eletrostática entre coloides favorecendo a colisão entre eles (Ravina, 1993). Na Figura 2.2 é possível ver o mecanismo de compressão sendo a imagem da esquerda o coloide antes da adição de coagulante e à direita após a adição do mesmo.

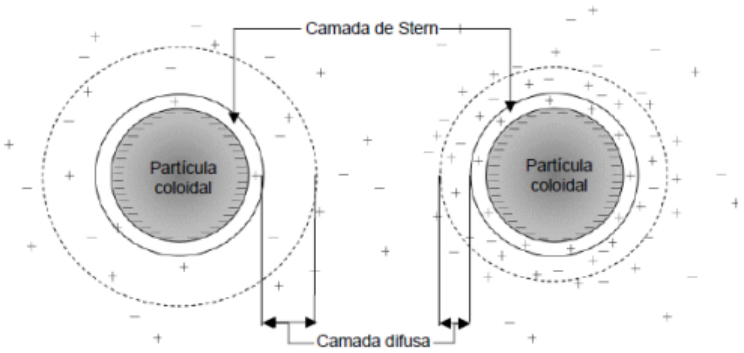


Figura 2.2 - Mecanismo de Compressão da dupla camada (adaptado de Daltin, 2011)

b) Neutralização de Cargas

Este mecanismo é caracterizado por uma mistura rápida que favorece a absorção da carga positiva do coagulante catiónico na superfície da partícula coloidal neutralizando-a. Sendo assim, é reduzida ou eliminada a energia de repulsão das partículas, aumentando a probabilidade de colisão. A neutralização das cargas superficiais das partículas tem um papel fundamental na otimização do processo de sedimentação e na redução de turvação. O mecanismo de neutralização de cargas, por si só, poderá não criar flocos visíveis a olho nu, mas apenas micro flocos (Ravina, 1993).

c) Precipitação por arrastamento

A precipitação por arrastamento envolve a adição de grandes doses de coagulantes, normalmente sais de ferro ou alumínio, que precipitam em forma de hidróxidos metálicos. Este fenómeno causa um varrimento das partículas de menores dimensões. Este mecanismo é também conhecido como *'sweep floc'* (Ravina, 1993).

d) Formação de pontes entre partículas

Este mecanismo ocorre quando se adiciona coagulante e a carga superficial da partícula se encontra próxima de zero. O reagente favorece a captura e a ligação entre coloides através de pontes de hidrogénio e, em conjunto com o mecanismo de neutralização de cargas, favorecem a rápida sedimentação das partículas. Na Figura 2.3 é possível observar o mecanismo descrito.

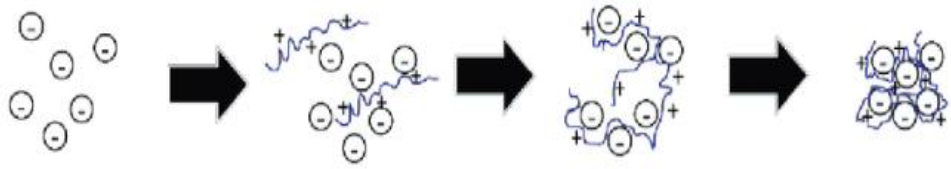


Figura 2.3 - Mecanismo de Formação de pontes entre partículas (Othman et al., 2020)

Existem ainda diversos fatores que influenciam a coagulação/floculação e que devem ser tidos em conta aquando da aplicação destes processos.

A temperatura afeta o movimento das partículas coloidais e as propriedades dos reagentes a adicionar. A agitação influencia a eficácia do processo sendo que durante a primeira fase esta deve ser rápida promovendo uma reação homogénea. Já na segunda fase, a agitação deve ser lenta no sentido de promover a aglomeração de partículas coloidais. A concentração e o tamanho dos coloides afetam os mecanismos do processo. A dosagem de polímero está diretamente relacionada com os resultados obtidos referentes às eficiências de remoção. Por último, o pH da solução representa um dos parâmetros mais importantes já que as melhores eficiências de remoção são registadas num intervalo ótimo de pH. É possível controlar o pH da solução através da adição de ácido ou cal, caso se pretenda diminuir ou aumentar o pH, respetivamente (Flyer, 1972).

2.4 Decantação

A decantação tem como objetivo a separação das partículas em suspensão presentes na água residual que, através da força da gravidade, sedimentam obtendo-se um efluente clarificado.

No tratamento de águas residuais, geralmente, a operação de decantação é utilizada no tratamento primário com a remoção de sólidos suspensos facilmente sedimentáveis e no tratamento secundário com o objetivo de remover flocos formados durante o tratamento biológico (Marecos do Monte, 2016).

Existem diversos tipos de decantadores, contudo, no presente estudo serão considerados decantadores lamelares no tratamento primário uma vez que a ETAR do Barreiro/Moita está equipada com decantadores deste tipo. A utilização de lamelas permite aumentar a área de decantação, diminuindo assim a área de implantação sem pôr em causa as eficiências de remoção. A lamelas consideradas são constituídas por módulos que constituem células hexagonais em PVC colocadas com uma inclinação de 60º (Efacec, 2010).

A tecnologia utilizada no presente estudo remete para uma decantação lamelar em contracorrente. Esta é caracterizada pelo escoamento da água em sentido oposto ao dos sólidos que se vão depositando nas lamelas e consequentemente deslizando para baixo graças à ação da gravidade. Na Figura 2.4 é possível observar o funcionamento simplificado do sistema lamelar em contracorrente.

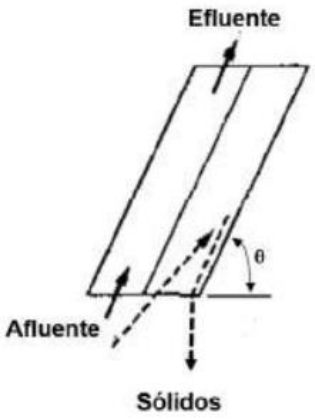


Figura 2.4 - Sistema lamelar em contracorrente (Adaptado de Davis, 2010)

É de referir que a utilização de decantadores lamelares pode apresentar algumas desvantagens tais como a maior possibilidade de entupimento e acumulação de óleos e gorduras nas lamelas sendo aconselhável o processo de remoção de óleos e gorduras a montante. E ainda a acumulação de lamas nas lamelas podendo diminuir a qualidade do efluente. Neste sentido é necessário efetuar limpezas periódicas às lamelas (EPA, 1997).

A separação sólido-líquido pretendida na decantação primária conduz à produção de lamas primárias. Esta está diretamente relacionada com a fração de sólidos em suspensão presentes na água residual que aflui ao tratamento primário. Habitualmente, a eficiência de remoção de sólidos suspensos ao nível do tratamento primário encontra-se na ordem dos 50% a 70% e para remoção de CBO_5 entre os 25% a 40%. Aquando da adição de coagulante em auxílio à decantação primária, como

o cloreto férrico ou o sulfato de alumínio, a eficiência de remoção de sólidos pode chegar aos 90% refletindo-se deste modo na quantidade de produção de lamas primárias. (Metcalf & Eddy, 1991).

A produção de lamas primárias, assim como a produção global de lamas numa ETAR são um dos subprodutos resultantes do tratamento de águas residuais. Existe, deste modo, uma grande necessidade associada ao aproveitamento destas como por exemplo a sua utilização para produção de biogás e consequentemente produção de energia. Assim, a produção de lamas é cada vez mais associada à produção de energia numa ETAR que esteja equipada com digestão anaeróbia.

A estimativa de produção de lamas primárias é assim uma necessidade aquando do estudo da viabilidade económica de uma nova solução de tratamento como é o caso do TPA. Deste modo, é possível estimar a produção de lamas primárias (LP) através da Equação 2.1 (WEF, 2008):

$$LP = \frac{Q \times [SST]_{Afl} \times E_{SST}}{1000} \quad (2.1)$$

Em que,

LP – Estimava de lamas primárias produzidas, kg/dia;

Q – Caudal de água residual afluente, m^3/dia;

$[SST]_{afluente}$ – Concentração de SST afluente ao DPR, mg/L;

E_{SST} – Eficiência de remoção de SST, %;

1000 – Fator de conversão de unidades,1mg/L = 1/1000kg/m^3.

O fenómeno predominante na operação unitária de decantação é a sedimentação, sendo que esta remete para a operação de separação de partículas em suspensão que apresentam maior densidade que o líquido.

Consoante a concentração das partículas e as forças a que estão sujeitas, podem-se individualizar quarto tipos diferentes de sedimentação:

A sedimentação discreta ocorre quando as partículas sedimentam sem que exista qualquer tipo de aglomeração e mantendo as suas propriedades individuais. Quando se trata de partículas discretas que não floculam, estas sedimentam segundo a lei de Newton em que se assume que as partículas são circulares com diâmetro uniforme. (Ramalho, 1983).

A sedimentação floculenta remete para uma sedimentação de partículas em que as suas características físicas se alteram à medida que as partículas se aglutinam e deste modo formando flocos. Esta ocorre devido a processos de coagulação/floculação ou precipitação química havendo assim alterações físicas que causam, consequentemente, alterações nas velocidades de sedimentação (Marecos do Monte et al.,2016).

A sedimentação em manto dá-se na presença de elevadas concentrações de sólidos suspensos em que a fração líquida tende a subir enquanto as partículas sedimentam formando um manto em que as suas posições relativas se mantêm (Carlsson, 1998). Sendo que a fração líquida se move através do espaço livre entre partículas enquanto estas sedimentam, as velocidades de sedimentação serão inferiores à da sedimentação discreta (Davis, 2010).

A sedimentação em compressão ocorre aquando da existência de uma elevada concentração de partículas. Esta dá-se pela compressão das partículas já sedimentadas e pelo peso das novas partículas que se juntam à camada de lamas. A consolidação das partículas acontece na zona inferior dos decantadores, sendo esta bastante lenta. (Lin & Lee, 2007).

Sendo que o presente estudo assenta na análise dos impactos de uma DPA, é possível aferir que, neste processo, ocorrerá maioritariamente uma sedimentação floculenta já que a sedimentação é antecedida por uma coagulação/floculação com auxílio químico.

2.5 Tratamento Biológico

Após efetuada a remoção de grande parte dos sólidos bem como das areias e gorduras, é necessário remover a carga orgânica presente nas águas residuais. Neste sentido, após o tratamento primário, a água é encaminhada para o tratamento biológico onde é removida a matéria orgânica solúvel e coloidal presente no afluente. Após os processos biológicos, são efetuados processos físicos como a decantação ou filtração com o objetivo de promover remoção de lamas em excesso (Cachucho, 2021).

O tratamento biológico ou secundário, consiste na conversão de matéria orgânica e nutrientes presentes na água residual em biomassa, dióxido de carbono, entre outros gases. Os sistemas de tratamento biológico podem ser de biomassa em suspensão como os sistemas de lamas ativadas ou de biomassa fixa no qual os microrganismos se desenvolvem em torno de um meio de suporte fixo. No presente estudo será considerado o sistema de biomassa suspensa já que a ETAR do Barreiro/Moita se encontra equipada com um sistema de lamas ativadas.

Este sistema inclui uma primeira fase materializada pelos reatores biológicos, em que existe fornecido oxigénio através de arejamento favorecendo a oxidação biológica da matéria orgânica. Os microrganismos são mantidos em suspensão criando um licor misto. Numa segunda fase, materializada pelos decantadores secundários, a biomassa é separada do efluente clarificado. Parte desta biomassa é recirculada ao reator biológico com o intuito de manter as concentrações de microrganismos adequada.

Assim sendo, a linha de arejamento existente nos reatores biológicos representa um papel fundamental na degradação biológica das frações orgânicas presentes nas águas residuais. Na ETAR do Barreiro/Moita esta linha é materializada por um sistema de difusores de bolha final.

O arejamento utilizado no tratamento biológico é um dos maiores consumidores energéticos de uma ETAR. Deste modo, um dos grandes objetivos relativos à neutralidade energética de uma estação, assenta na redução das necessidades de arejamento nos RB.

Assim, é essencial calcular as necessidades globais de oxigénio (AOR) expressas a partir da Equação 2.2 presente na Memória descritiva da ETAR do Barreiro/Moita:

$$AOR = A \times CBO_{5Removido} + B \times MLVSS \times V_R \quad (2.2)$$

Em que,

AOR **–** Necessidades globais de oxigénio, kg O_2/d;

A – Coeficiente das necessidades de oxigénio relativo à remoção de CBO_5, 0,5 kg O_2/ kg CBO_5;

B – Coeficiente das necessidades de oxigénio relativo à respiração endógena, 0,08 kg O_2/ kg MLVSS;

$CBO_{5\ Removido}$ – Carga de CBO_5 removido no tratamento biológico, kg CBO_5/d;

MLVSS – Concentração de MLVSS considerada, kg MLVSS/ m^3;

V_R – Volume total dos reatores aeróbios, m^3.

O valor obtido a partir deste método é aplicável para água limpa com uma concentração de oxigénio dissolvido nula e em condições PTN. Assim, para se determinar a capacidade de oxigenação a fornecer ao tratamento biológico, nas condições operacionais, é necessário recorrer à Equação 2.3 presente na Memória descritiva da ETAR do Barreiro/Moita:

$$SOTR = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \times \left(\frac{C_{STD}}{\beta \times C_{T'} - C_L}\right) \times \theta^{(STD-T)} \times AOR \times \left(\frac{1}{t}\right) \quad (2.3)$$

Onde,

SOTR – Razão de transferência de oxigénio, kg O_2/dia;

α – Razão de transferência entre água limpa e água residual;

β – Razão da concentração de oxigénio de saturação entre água limpa e água residual;

STD – Temperatura standard, ºC;

T – Temperatura de processo, ºC;

C_{STD} – Concentração de saturação de oxigénio dissolvido em água limpa, à temperatura standard, à pressão atmosférica standard e salinidade de 0 ppm, mg/L;

$C_{T'}$ – Concentração media de saturação oxigénio dissolvido em água limpa, à temperatura processual, à altitude H e salinidade 0 ppm, mg/L;

C_L – Concentração de oxigénio no tanque de arejamento, mg/L;

θ – Coeficiente de correção de temperatura;

t– Tempo de arejamento, h/dia.

Por conseguinte, para se entender o impacto energético e económico que as necessidades de oxigénio terão no sistema é necessário calcular a potência associada ao arejamento. Este cálculo é feito através da Equação 2.4:

$$P = \frac{SOTR}{SAE} \tag{2.4}$$

Onde,

P – Potência de alimentação do arejamento, kWh;

SAE – Eficiência de arejamento *standard*, kg O_2/kWh.

Tendo em conta as equações exibidas anteriormente e através da carga de CBO_5 removida no TB é possível estimar os consumos energéticos associados ao arejamento no RB, bem como os custos a estes relacionados. Estas estimativas têm como objetivo facilitar a interpretação dos dados obtidos ao longo do estudo bem como compará-los com os dados reais existentes.

2.6 Digestão Anaeróbia

No tratamento de águas residuais existe a produção de lamas. Estas possuem características que possibilitam a sua utilização, inclusive para produção de energia. Neste sentido, a Digestão Anaeróbia tem como objetivo estabilizar as lamas e produzir biogás.

Assim, a Digestão Anaeróbia consiste na solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas realizadas por microrganismos, na ausência de oxigénio. Este processo resulta na produção de biogás (mistura de metano, dióxido de carbono e outros gases em quantidades inferiores) e bio sólidos estabilizados. Parte da fração volátil das lamas espessadas é convertida em biogás. Além de reduzir a quantidade de sólidos a serem transportados ou tratados, destrói grande parte dos agentes patogénicos presentes nas lamas e reduz a possibilidade de odores. Neste sentido, a adoção de uma digestão anaeróbia é considerada essencial em ETAR de grandes e médias dimensões, existindo uma otimização dos custos e do consumo de energia (Dewil et al., 2008).

A alimentação de um digestor anaeróbio varia na composição química e física, sendo maioritariamente constituída por lamas mistas, isto é, mistura de lamas primárias espessadas e lamas em excesso espessadas. Parte da fração volátil presente nas lamas espessadas é convertida em

biogás. Teoricamente, quanto maior for a quantidade de lamas afluente ao digestor, maior será a produção de biogás. Contudo, existem fatores que podem ter impactos negativos no processo como por exemplo a presença de coagulantes metálicos nas lamas.

Para utilizar o poder energético do biogás na própria ETAR, é necessário recorrer a um sistema de cogeração. Este caracteriza-se como um processo de produção de energia elétrica (a partir de energia mecânica) e calor. No presente estudo serão considerados grupos motogeradores. Neste caso a conversão do biogás em energia elétrica é relativamente reduzida. Geralmente, estes possuem eficiências de conversão do biogás em energia elétrica entre 30% e 38%. O restante poder energético do biogás é convertido em calor (DGE, 2000). Contudo a energia térmica produzida pode ser aproveitada para o aquecimento das lamas no digestor, evitando assim o desperdício de energia.

No presente caso de estudo a Digestão Anaeróbia recebe lamas mistas. Antes de afluírem à digestão, estas passam por um processo de espessamento. Após a digestão as lamas estabilizadas afluem a um processo de desidratação. O processo de digestão realiza-se em regime mesófilo a 35ºC.

2.7 Casos de Estudo do Tratamento Primário Avançado

Devido aos seus benefícios para os sistemas de tratamento de águas residuais, o Tratamento Primário Avançado é um processo aplicado a diversos casos de estudo. De seguida, encontram–se listados alguns exemplos de estudo e otimização do TPA.

- Na ETAR de Beirolas, foi testada a utilização de sementes trituradas de *Moringa oleifera* como reagentes no processo de coagulação-floculação através de ensaios Jar-test. Obtiveram-se eficiências de remoção de 73% e 79% para CQO e SST, respetivamente. Foi igualmente estudado o impacto energético na estação em caso de adoção do TPA (Oliveira, 2014).
- As lamas com carvão ativado produzidas na Estação de Tratamento de Água de Penha Garcia foram utilizadas como coagulante através de ensaios Jar-test com o objetivo de simular o TPA em ETAR. A água residual utilizada é proveniente das ETAR de Fernão Ferro e Santa Cita. Obteve-se um acréscimo de eficiência de remoção de Fósforo Total de cerca de 40% (Viana, 2019).

Além disso, o TPA é um processo utilizado atualmente em diversas partes do mundo, existindo diversas estações que dispõem deste tipo de tratamento primário:

- A ETAR de Stonecutters Island, em Hong-Kong na China, possui a etapa de Tratamento Primário Avançado com a utilização de Cloreto Férrico e Polímero como reagentes. Esta etapa remove cerca de 80% de SST e 70% de CBO_5 (DSD, 2019).
- A ETAR da Riviera de São Lourenço, em São Paulo no Brasil é outro exemplo da aplicação do Tratamento Primário Avançado. Foi considerada oportuna a aplicação deste tipo de tratamento primário, devido às grandes variações populacionais ao longo do ano. São utilizados Cloreto Férrico e Polímero como reagentes sendo removido cerca de 85% de SST e 60% de CBO_5 (Olive, 2002).

2.8 Vantagens e Desvantagens do Tratamento Primário Avançado

A utilização de uma decantação primária assistida (DPA) em alternativa a uma decantação primária tradicional pode apresentar inicialmente um custo adicional em comparação com o tratamento primário já que é necessária a utilização de reagente bem como a maior necessidade energética relativa aos agitadores. Mas os impactos nas etapas a jusante apresentam vantagens ao nível de custo/beneficio quer no tratamento secundário, quer na qualidade das lamas aquando da utilização das mesmas numa digestão anaeróbia. No tratamento primário, a utilização de uma DPA leva ao aumento das eficiências de remoção das cargas afluentes ao decantador em comparação com um tratamento primário convencional. Este aumento pode representar eficiências de remoção entre 43-96% de CQO, 70-96% de SST e 40-99% de Fósforo dependendo das características da água a tratar e dos reagentes utilizados (Shewa, 2020). Neste sentido, haverá maior produção de lamas primárias e menor carga afluente ao tratamento secundário.

Assim, o aumento das eficiências de remoção no tratamento primário trará benefícios no tratamento secundário. A redução de carga orgânica afluente ao RB reflete-se no decréscimo das necessidades de oxigenação dos microrganismos aeróbios e consequentemente na diminuição dos custos energéticos associados aos compressores de ar responsáveis pela oxidação do afluente no RB (Feo et al., 2012). O TPA leva a que as partículas afluentes ao RB sejam de dimensões reduzidas. Isto é, as partículas sofrem agregação devido à coagulação no TPA e, deste modo, a maioria das partículas decantam e apenas afluem ao tratamento secundário as partículas de dimensões reduzidas que não decantaram anteriormente (Riffat, 2013). Nesta sequência, as frações mais pequenas de partículas biodegradam-se mais rapidamente em comparação com as frações de partículas de maiores dimensões (Ødegaard, 1998).

Sendo que existe menos carga orgânica afluente ao RB, por consequência existirá também menos produção de lamas em excesso, já que em oposição haverá uma maior produção de lamas primárias. Contudo, a redução de carga afluente ao tratamento biológico pode conduzir a um défice de carbono, sendo este indispensável ao bom funcionamento do processo (Feo et al., 2012). Além disso, devido à boa capacidade dos agentes coagulantes para remover metais pesados da água, é de se esperar que a concentração destes nas lamas seja superior ao utilizar uma DPA (Ferrari Gualberto, 2009). Ainda relativo ao tratamento biológico, o TPA pode induzir a variações consideráveis no pH aquando do doseamento de coagulante. Na generalidade as bactérias, indispensáveis ao tratamento biológico, não toleram valores de pH inferiores a 4 ou superiores a 9 podendo assim afetar a atividade dos microrganismos e limitar as eficiências de remoção. Deste modo, o pH ideal para a atividade microbiológica é de 6,5 a 7,5 (Metcalf & Eddy, 2014). Por último, para o processo metabólico, os microrganismos necessitam da existência de nutrientes no reator biológico. Assim, durante o tratamento aeróbio, considera-se benéfica a existência de um rácio de C:N:P de 100:5:1. Contudo, quando se trata de estação de tratamento de águas residuais municipais, este rácio pode ser diferente devido à existência de efluentes industriais, aos diferentes hábitos alimentares de cada região, à

natureza do solo e à água potável. Assim, a nível municipal, no tratamento biológico o rácio C:N:P pode variar até valores na ordem dos 100:20:5 (M. Winkler, 2013). Deste modo, aquando da existência de um TPA é necessário analisar esta relação, uma vez que as diferentes eficiências de remoção registadas em comparação com um tratamento primário convencional podem proporcionar variações neste rácio e consequentemente pôr em causa o bom funcionamento do tratamento biológico (Marecos do Monte et al.,2016). A má qualidade das lamas em excesso, o crescimento de filamentosas o aumento significativo da produção de polissacarídeos são consequências da falta de nutrientes no tratamento biológico.

Já na digestão anaeróbia a presença de coagulantes metálicos nas lamas pode levar à redução da eliminação dos sólidos voláteis e à diminuição da produção de biogás. Em contrapartida, o aumento da afluência de lamas ao digestor levará ao aumento da produção de biogás. É necessário analisar pormenorizadamente os impactos que o TPA terá nas etapas a jusante para cada caso de estudo específico, podendo apresentar melhorias para um processo de tratamento específico, mas podendo também refletir-se num aumento de custos e não melhorias no processo de tratamento no geral.

Em síntese, em comparação com o tratamento primário convencional, o tratamento primário avançado apresenta diversos impactes favoráveis nos processos a jusante do mesmo. O aumento da dimensão das partículas coloidais leva ao aumento da sua densidade e consequentemente, ao aumento das velocidades de decantação. O tratamento primário poderá operar com mais carga hidráulica relativamente ao tratamento convencional. Existirá maior produção de lamas primárias e as suas características físicas permitirem também um melhor espessamento e desidratação. As características químicas das lamas em excesso potenciam o seu uso na agricultura. Estas alterações refletir-se-ão na produção de biogás. Sendo que o presente estudo remete para uma análise à escala laboratorial, não será possível obter os resultados reais relativamente ao impacto que o tratamento primário avançado terá nos processos a jusante. Por isso, é necessário recorrer a estimativas teóricas de produção de lamas e de produção de biogás.

Todavia, também existem desvantagens associadas à utilização do TPA. O custo associado aos reagentes utilizados. A maior necessidade de operação. A grande capacidade de remoção de CQO no TPA que pode levar ao défice de carbono no tratamento biológico, dificultando assim a remoção de azoto via biológica, bem como a possibilidade de alteração de pH, causando igualmente problemas à atividade microbiológica. A possibilidade de existir défice de fósforo sendo este igualmente limitante no tratamento secundário. Além disso, o aumento das eficiências de remoção no tratamento primário pode levar a uma redução na produção global de lamas produzidas numa ETAR (Neupane et al., 2008).

Assim, é necessário fazer uma análise critica relativamente à utilização do TPA, sendo que esta pode apresentar diferentes resultados para diferentes casos de estudo. Deste modo, será necessário realizar uma análise de custo/beneficio e entender os impactos específicos que a adoção de um TPA terá no processo.

2.9 Consumo energético no tratamento de águas residuais

Atualmente, uma ETAR possui um elevado consumo energético associado a equipamento mecânico e nomeadamente a operações de bombagem. Num tratamento de águas residuais convencional estima-se que cerca de 25-40% dos custos de operação sejam custos energéticos (Venkatesh & Brattebo., 2011). Deste modo, as ETAR são muitas vezes consideradas os maiores consumidores energéticos dos municípios (Wett et al., 2007). Ou seja, para que a água residual produzida comumente seja devolvida ao meio recetor sem grandes impactes, cumprindo os valores limites de cargas poluentes estipulados por lei, são necessárias infraestruturas para tratar a água, mas também uma enorme disponibilidade energética para que seja possível realizar processo de tratamento de água residual.

Em contrapartida, também é possível produzir energia a partir do tratamento de águas residuais sendo que as lamas produzidas podem ser utilizadas em sistemas de digestão anaeróbios a partir do qual é produzido biogás sendo este utilizado para produzir energia que é consumida na própria estação e eventualmente exportada para a rede elétrica. Deste modo, é possível inferir que a energia é uma peça crucial para o tratamento de água residual, contudo muitas ETAR são dimensionadas com o objetivo de cumprir os requisitos do efluente sem considerar os gastos energéticos inerentes ao tratamento (Rojas & Zhelev, 2012). Todavia, esta situação tem se invertido nos últimos anos sendo que a água e a energia são cada vez mais elementos cruciais (Panepinto et al., 2016) e fazendo a integração do nexus água energia. Além disso, com o crescente aumento da preocupação relativa às alterações climáticas e à escassez de água existe igualmente um aumento da dependência da energia ao nível dos sistemas urbanos de água, tanto para o transporte como para o tratamento (Lazarova, 2012).

Na Figura 2.5 é possível observar a distribuição padrão dos consumos energéticos numa ETAR (adaptado de Gu et al., 2016).

Figura 2.5 - Consumos Energéticos em ETAR (adaptado Gu et al., 2016)

Assim é possível verificar que o arejamento representa mais de metade da energia consumida numa ETAR sendo este processo bastante importante no tratamento de água residual já que é onde ocorre remoção de nutrientes e matéria orgânica através da atividade microbiológica aeróbia sendo deste modo necessário um sistema de arejamento para fornecer oxigénio (Halim, 2012).

A bombagem representa cerca de 12% da energia consumida numa ETAR já que muitas vezes existe a necessidade de elevar água residual devido às diferentes alturas manométricas registadas ao longo do processo de tratamento.

Já na digestão anaeróbia, apesar de ser um grande produtor de energia na estação, também existe energia consumida nomeadamente para o aumento da temperatura das lamas no sentido de facilitar o crescimento de microrganismos necessários à digestão anaeróbia (Halim, 2012). Apesar disso, dependendo das tecnologias utilizadas e da quantidade de água e carga poluente a tratar, a digestão anaeróbia pode fornecer cerca de 30% da energia consumida no tratamento de águas residuais (Menendez & Black, 2010) ou até eventualmente mais.

Assim, cada vez mais a autossuficiência energética é um dos grandes tópicos relativos ao tratamento de água residual com o objetivo de reduzir custos de operação e consumo energético com o intuito de alcançar a neutralidade carbónica (Nowak, 2011).

2.10 Métodos para Redução de Consumo de Energia em ETAR

O consumo de energia é considerado um dos tópicos mais relevantes na operação de estações de tratamento de água. A redução de energia consumida obtida através da rede, além de reduzir os custo monetários a esta associados, também contribui para uma diminuição da pegada carbónica e consequentemente um aumento da sustentabilidade das operações de tratamento de água (Horne et al. 2013).

Um dos métodos de redução de consumo energético remete para modificações estratégicas operacionais tais como a modificação de equipamento mecânico e sistemas de arejamento para conjuntos mais eficientes com menor impacto no consumo de energia (Maktabifard et al., 2018). Como já foi referido anteriormente, as operações de bombagens têm uma representação significativa nos consumos energéticos gerais de uma ETAR. Deste modo, a utilização de variadores de frequência nos sistemas de bombagem é considerada como o método de controlo de caudal energeticamente mais eficiente. Segundo o Departamento de Energia dos Estados Unidos a atualização para sistemas de bombagem com variador de frequência pode representar reduções do consumo energético na ordem dos 70 000 kWh/ano em estações de pequenas dimensões e 2 800 000 kWh/ ano em estações de grandes dimensões. Relativamente ao arejamento no tratamento biológico, a utilização de difusores de ar de bolha fina apresenta cerca de dez vezes mais eficiência de oxigenação com um consumo de energia inferior a metade em comparação com arejadores de superfície (Boncescu et Robescu, 2017).

Outro método de redução de consumo energético assenta na utilização de novas tecnologias de tratamento com o intuito de consumir menos energia e aumentar a recuperação da mesma. Neste sentido a digestão anaeróbia representa um papel fundamental no tema em discussão. O biogás no processo de digestão anaeróbia a partir das lamas produzidas no tratamento da fase líquida é composto maioritariamente por metano (60%-70%) e dióxido de carbono (30%-40%) contendo ainda pequenas concentrações de azoto entre outros constituintes. Assim, a porção de metano do biogás representa um combustível valioso que através de um processo de cogeração é capaz de suprir parte das necessidades energéticas de uma estação (Moss et al. 2013; Tyagi and Lo 2013; Bachmann 2015).

O TPA, como já foi referido anteriormente, é também uma tecnologia que promove a redução de consumo energético ao longo das diversas etapas a jusante do tratamento primário. Contudo, a conjugação de reagente possui um papel fundamental, não só a nível económico mas também a nível processual, já que o uso de reagente como o Alumínio pode inibir a produção de biogás durante a digestão anaeróbia (Meerburg et al. 2016).

Com o crescimento da tecnologia e sensibilização referente à energia solar, cada vez mais este tópico é tido em consideração quando se procura reduzir a importação de energia numa estação de tratamento de águas e reduzir também a pegada ecológica da mesma. Economicamente, esta tecnologia possui um investimento inicial contudo estudos revelam que existe uma amortização do investimento em menos de 8 anos (Chae and Kang 2013). Dependendo da área disponível para a instalação de painéis solares, é possível produzir mais de 50% da energia consumida numa ETAR (Xu et al.,2017). Cada vez mais existe a adoção deste tipo de soluções inovadoras como é o caso da ETAR de Argoncilhe, em Santa Maria da Feira onde houve uma rentabilização do espaço existente através da colocação de painéis fotovoltaicos sobre as valas de oxidação.

3. Caso de Estudo

O presente estudo aplica-se à ETAR do Barreiro/Moita. Esta foi inaugurada em 2011 e pertence ao Sistema Integrado Multimunicipal de Águas Residuais da Península de Setúbal, (SIMARSUL, 2022). Serve os Municípios do Barreiro, Moita e Palmela e o seu efluente é descarregado na bacia do Tejo. A ETAR foi dimensionada para tratar, no ano horizonte de projeto, um equivalente populacional de 295 000 hab. Eq., correspondendo a um caudal médio de 64 800 m3/dia. (SIMARSUL, 2022). Na Figura 3.1 é possível observar a vista aérea da ETAR em estudo.

Figura 3.1 - Vista aérea da ETAR do Barreiro/Moita (Fonte: AdP, 2016)

A ETAR foi projetada numa linha de tratamento principal da fase líquida, que abarca um tratamento secundário por lamas ativadas em regime de arejamento convencional, em reatores biológicos retangulares precedido de decantação primária lamelar. As lamas primárias são recolhidas nos decantadores retangulares lamelares, enquanto as lamas em excesso são extraídas em decantadores secundários. Ambas realizadas através de raspadores de fundo.

Existe ainda uma linha de tratamento paralela à linha de tratamento principal, cujo objetivo é fazer face ao diferencial entre o caudal máximo de tempo húmido e o caudal de ponta de tempo seco. Esta linha possui ainda a possibilidade de uma etapa de decantação primária acelerada com auxílio químico.

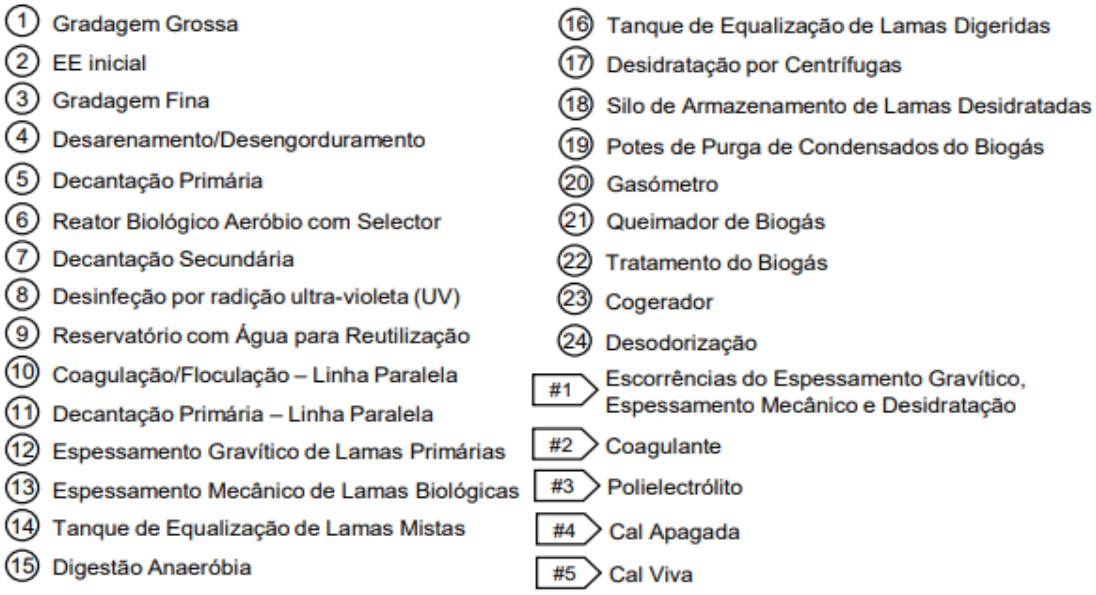
É neste ponto que entra o âmbito deste estudo já que, é possível a utilização desta linha paralela como tratamento primário avançado. Isto é, utilizá-la em opção à linha de tratamento principal com o intuito de tratar o afluente através de um processo de coagulação/floculação com adição de reagentes seguida de uma decantação lamelar, possibilitando o aumento da eficiência da decantação primária. Com este aumento de eficiência prevê-se igualmente impactos positivos nos processos a jusante levando, de uma forma geral, à redução do consumo energético da ETAR tendo em conta o objetivo de neutralidade energética da mesma. A estação encontra-se preparada, hidraulicamente, para realizar o tratamento primário na linha paralela e o tratamento biológico na linha principal, havendo um circuito hidráulico que possibilita esta flexibilidade. É de frisar que a linha paralela se encontra equipada com decantadores lamelares.

No tratamento da fase sólida, as lamas primárias da linha de tratamento principal, as lamas produzidas na linha de tratamento paralelo e as lamas em excesso produzidas no tratamento biológico são enviadas para um processo de espessamento. As lamas primárias e produzidas na linha paralela são espessadas graviticamente enquanto nas lamas em excesso o processo é feito através de pré-espessadores dinâmicos. As escorrências dos processos de espessamento são enviadas para a cabeça da estação. As lamas espessadas são enviadas para uma etapa de digestão a quente, com aproveitamento de biogás em sistema de cogeração seguido de uma desidratação mecânica, estando ainda prevista a possibilidade de estabilização por via química.

Por último, é feita a desinfeção da totalidade do efluente final da ETAR, tendo em conta as características do meio recetor e a necessidade de compatibilidade com os requisitos de qualidade mínima de águas balneares. A ETAR possui ainda tratamento da fase gasosa. A desodorização é feita ao longo das fases de tratamento líquido, bem como ao longo da fase de tratamento sólido.

3.1 Diagrama Linear da ETAR do Barreiro/Moita

Na Figura 3.2 é possível observar o diagrama linear simplificado da ETAR do Barreiro/Moita bem como a legenda explicativa. Ao analisar o diagrama é possível verificar que não está representada a ligação da linha líquida paralela ao tratamento secundário da linha líquida principal já que inicialmente não se encontrava prevista esta possibilidade. Contudo, esta possibilidade existe, sendo possível transferir o afluente da linha líquida paralela para o tratamento secundário da linha líquida principal.


1 Gradagem Grossa
2 EE inicial
3 Gradagem Fina
4 Desarenamento/Desengorduramento
5 Decantação Primária
6 Reator Biológico Aeróbio com Selector
7 Decantação Secundária
8 Desinfeção por radição ultra-violeta (UV)
9 Reservatório com Água para Reutilização
10 Coagulação/Floculação – Linha Paralela
11 Decantação Primária – Linha Paralela
12 Espessamento Gravítico de Lamas Primárias
13 Espessamento Mecânico de Lamas Biológicas
14 Tanque de Equalização de Lamas Mistas
15 Digestão Anaeróbia
16 Tanque de Equalização de Lamas Digeridas
17 Desidratação por Centrífugas
18 Silo de Armazenamento de Lamas Desidratadas
19 Potes de Purga de Condensados do Biogás
20 Gasómetro
21 Queimador de Biogás
22 Tratamento do Biogás
23 Cogerador
24 Desodorização
#1 Escorrências do Espessamento Gravítico, Espessamento Mecânico e Desidratação
#2 Coagulante
#3 Polielectrólito
#4 Cal Apagada
#5 Cal Viva

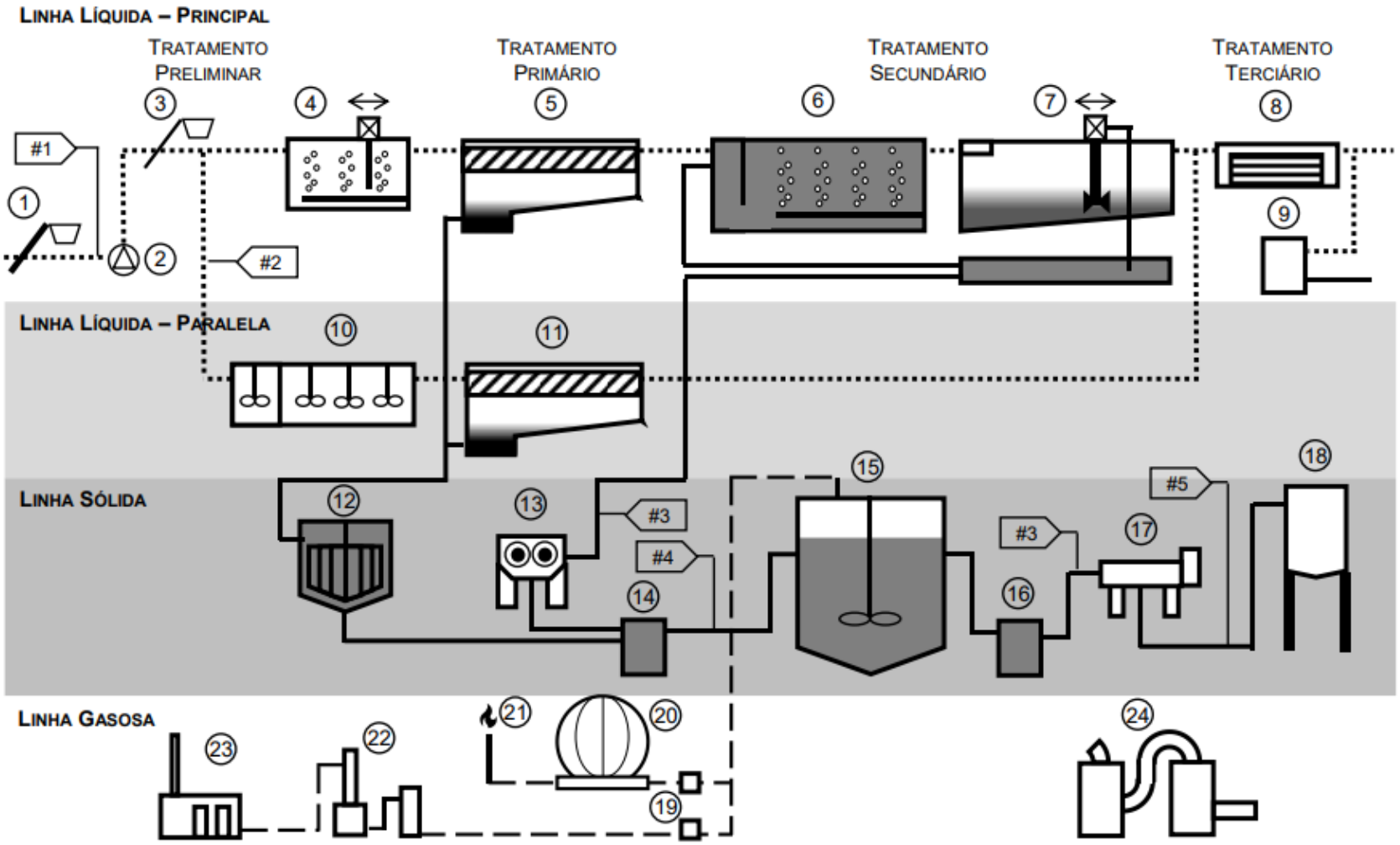


Figura 3.2 - Legenda e Diagrama Linear simplificado da ETAR do Barreiro/Moita (Figueiredo, 2018)

4. Materiais e Métodos

Com o intuito de otimizar e modelar o tratamento primário avançado da ETAR do Barreiro/Moita, realizaram-se ensaios *Jar-Test*, a fim de encontrar a melhor formulação de reagentes de coagulação/floculação para otimizar a eficiência da decantação primária e consequentemente melhorar as etapas de tratamento a jusante da decantação primária.

Nos ensaios realizados, foi seguido um plano experimental que tinha como objetivo delinear cenários, a fim de os estudar e comparar com um cenário de referência

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos e métodos utilizados nos ensaios.

4.1 *Jar-Test*

Para encontrar a melhor formulação de reagentes de coagulação/floculação foi necessário recorrer a diversos ensaios *Jar-Test* para averiguar qual a melhor conjugação de reagentes e qual as dosagens ótimas dos mesmos, tendo em conta as características da água residual da ETAR em estudo e os parâmetros em avaliação.

Os ensaios *Jar-Test* permitem simular a uma escala laboratorial a adição e mistura de reagentes. Além disso, é igualmente possível simular também a fase de sedimentação e, deste modo, otimizar as dosagens de reagentes, os tempos de mistura e as velocidades de agitação.

Assim, é possível analisar a influência que a coagulação/floculação terá na separação de partículas por gravidade, obtendo-se assim novas velocidades de sedimentação possibilitando modelar o comportamento do tratamento primário tendo em conta as novas condições.

O equipamento *Jar-Test* é constituído por seis agitadores com velocidades reguláveis, permitindo assim analisar cinco dosagens diferentes e um branco sendo que este simula o processo sem a adição de reagentes para efeitos de comparação. No presente estudo foram fixados os valores presentes na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Parâmetros Utilizados nos Ensaios *Jar-Test*

Parâmetros	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Unidade
Tempo de Mistura Rápida	-	1	1	min
Velocidade de Mistura Rápida	-	99	99	rpm
Tempo de Mistura Lenta	5	5	5	min
Velocidade de Mistura Lenta	24	24	24	rpm
Tempo de Sedimentação	30	30	30	min

Nos ensaios *Jar-Test* realizados, o objetivo da mistura rápida foi simular a etapa de coagulação e o objetivo da mistura lenta foi simular a floculação. Já o objetivo da sedimentação após os ensaios foi simular a etapa de decantação.

O material e o equipamento utilizados nos ensaios *Jar-Test* encontram-se na seguinte lista:

- Equipamento *Jar-Test;*
- Micro-Pipetas;
- Cronómetro;
- Gobelets;
- Provetas Graduadas;

Na Figura 4.1 está apresentado o equipamento *Jar-Test* utilizado:

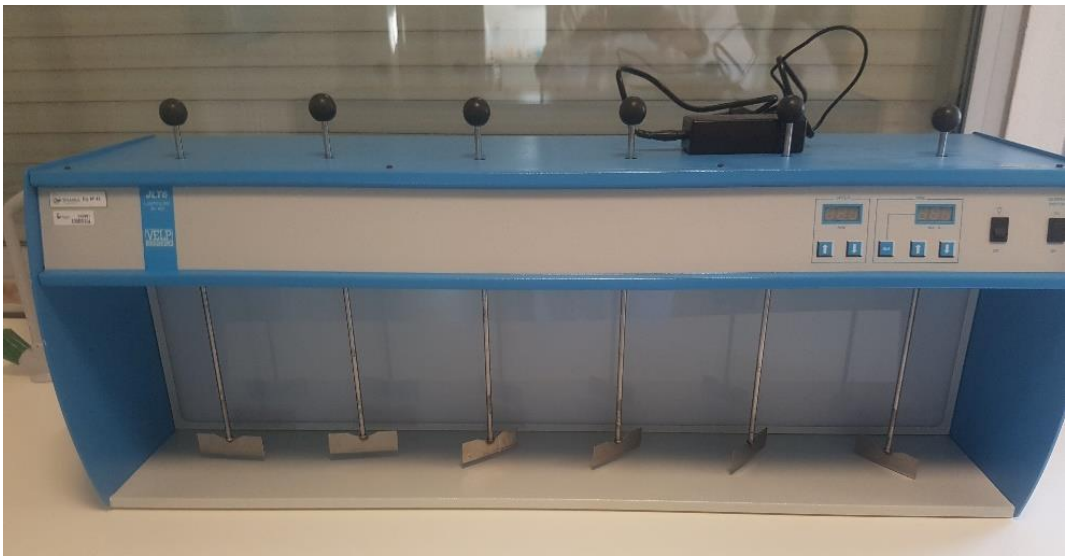


Figura 4.1 - Equipamento *Jar-Test* utilizado nos ensaios

4.2 Parâmetros

Para caracterizar a eficiência de cada reagente foram escolhidos diversos parâmetros físico-químicos a partir dos quais se pretendeu obter a melhor conjugação a utilizar no tratamento primário avançado. Foram feitas determinações analíticas do sobrenadante resultante dos ensaios *Jar-Test* e da água residual bruta proveniente da ETAR do Barreiro/Moita. Os parâmetros analisados são:

Sólidos Suspensos Totais

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) representam a matéria sólida existentes na água em suspensão. É um dos principais componentes presentes nas águas residuais e industriais. A sua remoção ao longo do sistema de tratamento é bastante importante já que a água afluente à ETAR apresenta níveis elevados de SST e de outros parâmetros que ao chegarem ao meio recetor podem ter impactos bastante negativos no sistema ecológico do mesmo.

Carência Química de Oxigénio

A Carência Química de Oxigénio (CQO) representa indiretamente a matéria orgânica e inorgânica presente na amostra de água apesar de não fazer a sua distinção. Considerou-se este parâmetro já que a sua análise é mais rápida e conveniente relativamente à determinação da Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5) a qual obrigaria a uma duração mínima de 5 dias.

Fósforo

O Fósforo (P) é um elemento presente nas águas residuais e que tem grande impacto nos ecossistemas envolventes ao meio recetor. Situações com níveis elevados de fósforo nas águas proporcionam crescimento de algas e plantas que consequentemente pode levar a eutrofização. Existem diversos compostos de fósforo que são utilizados em fertilizantes agrícolas, detergentes e processos industriais sendo assim importante controlar a sua presença nos efluentes domésticos e industriais.

Azoto amoniacal

O azoto amoniacal (NH_4) é uma das formas de Azoto presente na água residual. Estas provêm maioritariamente da decomposição microbiana de compostos orgânicos azotados. Este parâmetro apresenta uma enorme relevância na análise do comportamento do tratamento biológico e da digestão de lamas.

pH

O pH é um fator determinante no desenvolvimento de microrganismos no tratamento biológico e no processo de coagulação.

Os protocolos utilizados durante as determinações dos parâmetros em estudo encontram-se no Anexo D.

4.3 Ensaios Laboratoriais

Os ensaios laboratoriais foram realizados na ETAR da Quinta do Conde, uma vez que a ETAR do Barreiro/Moita não possui laboratórios próprios sendo que todas as amostras de afluente bruto utilizadas nos ensaios foram recolhidas e enviadas no dia de cada ensaio para a ETAR da Quinta do Conde.

Os ensaios encontram-se divididos em 3 etapas. Numa primeira etapa, considerada Ensaio 1, foram testados os 5 polímeros selecionados para o presente estudo. O objetivo inicial foi compreender quais os floculantes que apresentariam melhor desempenho relativamente à remoção de carga poluente da água residual afluente à ETAR do Barreiro/Moita. Assim, os polímeros foram todos testados com a mesma dosagem e apenas realizando uma mistura lenta, sem doseamento de coagulante. No final do primeiro ensaio foram selecionados os 3 polímeros que apresentaram as melhores eficiências de remoção.

Numa segunda etapa, considerada Ensaio 2, foram utilizados os polímeros selecionados anteriormente em conjugação com o coagulante cloreto férrico. Nesta fase foi realizada uma mistura rápida seguida de uma mistura lenta. A dosagem do coagulante é fixa enquanto para os diferentes polímeros em estudo foram testadas 3 dosagens diferentes. O objetivo do segundo ensaio foi selecionar apenas 1 polímero a utilizar no último ensaio e entender qual o impacto das diferentes dosagens na remoção de carga poluente. No Ensaio 2 ficou definida qual a melhor conjugação de coagulante/floculante a utilizar.

No último ensaio, designado Ensaio 3, foi testado novamente o floculante selecionado no segundo ensaio, mas utilizado em dosagens superiores às consideradas anteriormente. Numa segunda fase do último ensaio, foi considerado o doseamento de lamas em excesso em conjunto com o coagulante no sentido de entender qual o impacto deste doseamento nas eficiências de remoção de carga poluente. Assim, foi realizada uma mistura rápida com o doseamento de cloreto férrico e lamas em excesso, seguido de uma mistura lenta com o doseamento de floculante. Nesta fase foram simuladas recirculações de 25%, 50% e 100% de lamas em excesso ao TPA. Foram também testadas duas dosagens de polímero diferentes.

Para o presente estudo, considerou-se a utilização de cloreto férrico. Este representa um coagulante de carga positiva, capaz de neutralizar as cargas das partículas presentes nas águas residuais formando micro-flocos. Utilizaram-se também diversos polímeros aniónicos no presente

estudo. Estes representam floculantes de carga negativa com o objetivo de aglutinar os micro-flocos criados anteriormente, a fim de criar flocos de maiores dimensões e de maior densidade, auxiliando assim na decantação destes.

Foram utilizados polímeros líquidos e sólidos no presente estudo, existindo vantagens e desvantagens associadas a cada um deles. Os polímeros sólidos apresentam um prazo de validade superior aos polímeros líquidos. Relativamente à sua operação, os líquidos apresentam vantagens já que a sua utilização é mais simples, enquanto os sólidos necessitam de sistemas de preparação e de mais atenção do operador responsável. Relativamente ao custo, o polímero sólido, sendo mais concentrado que o polímero líquido, pode desempenhar melhores eficiências dependendo do afluente e representar um custo inferior. Os custos de transporte do polímero sólido também são inferiores ao polímero líquido.

Na Tabela 4.2 é possível observar os adjuvantes utilizados nos três ensaios realizados.

Tabela 4.2 - Adjuvantes utilizados nos diferentes ensaios

	Ensaio 1	**Ensaio 2**	**Ensaio 3**
Cloreto férrico		X	X
Ambifloc 2045	X		
Ambifloc 2016	X	X	
Ambifloc 2024	X	X	
Ambifloc 21F	X	X	X
Ambifloc 15F	X		
Lamas em excesso			X

Ensaio 1

O primeiro ensaio consistiu na avaliação da eficiência de 5 tipos de polímero diferentes numa simulação de decantação assistida. Deste modo, realizou-se um ensaio *Jar-Test* em que se utilizaram três polímeros sólidos e dois líquidos cujos nomes se encontram na seguinte lista:

- Ambifloc 2045;
- Ambifloc 2016;
- Ambifloc 2024;
- Ambifloc 21F (polímero líquido);
- Ambifloc 15F (polímero líquido);

A dose de polímero utilizada foi 1,5 ppm, sendo que todos os polímeros foram preparados com uma concentração de 0,1%. Assim, antes de se adicionar os polímeros às diferentes amostras de água bruta, foram preparadas as amostras de polímero a dosear. Na Tabela 4.3 estão identificados os diferentes polímeros bem com as tomas consideradas.

Tabela 4.3 - Identificação dos Polímeros a utilizar no 1º Ensaio

	Código	Tipo de polímero	Volume final	Toma
Sólidos	**poli 2**	Ambifloc 2045	250 ml	0,250 g
	poli 3	Ambifloc 2016	250 ml	0,250 g
	poli 4	Ambifloc 2024	250 ml	0,250 g
Líquidos	**poli 5**	Ambifloc 21F	500 ml	0,500 ml
	poli 6	Ambifloc 15F	500 ml	0,500 ml

Na figura 4.2 encontram-se as preparações de cada polímero das quais foram doseados 1,5 ppm em cada amostra de 1 litro de água bruta.

Figura 4.2 - Preparação de Polímero para o 1º Ensaio

Procedimento Laboratorial

O primeiro ensaio realizado, tal como já foi referido anteriormente, teve como objetivo selecionar os floculantes que apresentavam maiores taxas de remoção. Assim, as amostras com floculante foram expostas a uma mistura lenta durante 5 minutos. Na Tabela 4.4 é possível observar as condições utilizadas no Ensaio 1.

Tabela 4.4 Condições utilizadas no Ensaio 1

Copo	**B(Branco)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Polímero	-	Ambifloc 2045	Ambifloc 2016	Ambifloc 2024	Ambifloc 21F	Ambifloc 15F
Dose	-	1,5 ppm	1,5 ppm	1,5 ppm	1,5 ppm	1,5 ppm

Adicionaram-se os polímeros na mesma concentração a 5 amostras de água bruta de 1 litro cada e considerou-se ainda uma amostra de controlo (Branco) à qual não foi adicionado reagente, mas foi submetido a agitação. Sendo que o objetivo deste primeiro ensaio foi determinar quais os reagentes que teriam melhor desempenho como floculante, apenas se realizou uma mistura lenta com o objetivo de simular a etapa de floculação. Estipulou-se uma velocidade de rotação de 24 rpm durante 5 minutos com o objetivo de simular a floculação.

Na Figura 4.3 é possível observar os "gobelets" do 1º Ensaio *Jar-test* após os 5 minutos de mistura lenta.

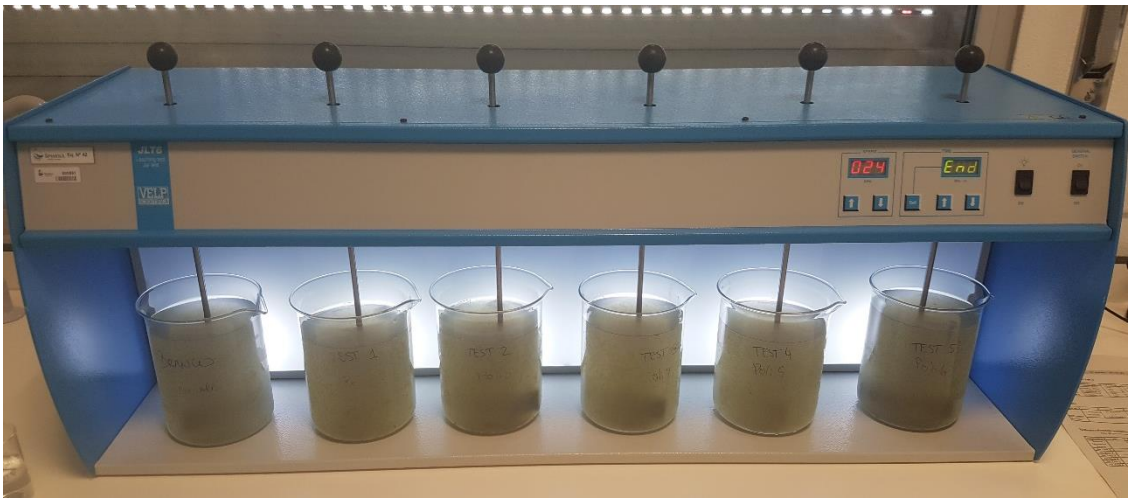


Figura 4.3 - Aspeto final do 1º ensaio

As amostras foram depois transferidas para provetas graduadas onde ficaram em repouso a decantar durante 30 minutos. Foram registadas as alturas do precipitado de 5 em 5 minutos, mas apenas a partir dos 15 minutos foi possível individualizar o sobrenadante do precipitado sendo que antes disso ainda havia bastante matéria em suspensão. Na Figura 4.4 é possível observar as provetas de decantação logo após o ensaio *Jar-Test*. É de referir que a amostra Branco, em todos os ensaios, foi subtida a agitação com o intuito de não haver sedimentação de partículas antes da transferência de todas as amostras para as provetas de sedimentação.

Figura 4.4 - Provetas de decantação após transferência da água

Ao final dos 30 minutos não existiam diferenças significativas relativamente à altura do precipitado entre amostras, mas apesar disso foi possível verificar a presença de maior altura de precipitado e um aspeto mais concentrado em comparação com a amostra Branco. Na Figura 4.5 é possível observar as provetas de decantação ao final de 30 minutos.

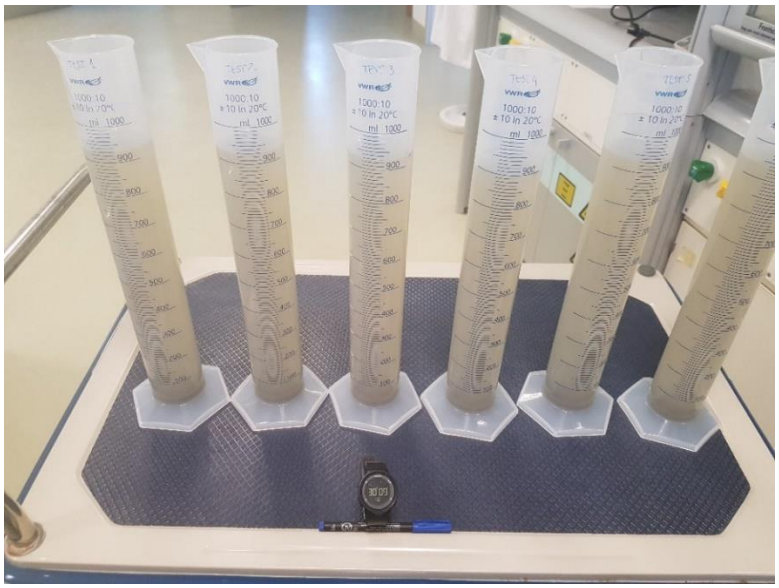


Figura 4.5 - Provetas de decantação após 30 minutos

Após esse tempo, foram recolhidas, com o auxílio de pompetes e pipetas graduadas, amostras do sobrenadantes de cada ensaio, no sentido de realizar as determinações analíticas.

Foram analisados diferentes parâmetros caracterizados anteriormente com o intuito de selecionar os 3 reagentes (2 sólidos e 1 líquido) com maiores taxas de eficiência de remoção a utilizar no segundo ensaio. As eficiências de remoção foram obtidas através da comparação entre as

determinações analíticas da amostra Branco e das amostras às quais são submetidas a agitação e a adição de reagente.

Ensaio 2

Para o segundo ensaio, utilizaram-se os seguintes polímeros, selecionados no Ensaio 1 após a análise das determinações analíticas:

- Ambifloc 2016
- Ambifloc 2024
- Ambifloc 21F (polímero líquido)

Ao contrário do primeiro Ensaio, as doses de polímero utilizadas foram variáveis com o objetivo de compreender qual o impacto que as variações da concentração de polímero teriam nas eficiências de remoção. Foram consideradas dosagens de 1 ppm, 1,5 ppm e 2,0 ppm para cada polímero sendo estes preparados com uma concentração de 0,1%. Assim, antes de se adicionar o polímero às diferentes amostras de água bruta, foram preparadas as amostras de polímero a dosear. Na Tabela 4.5 estão identificados os diferentes polímeros bem com as tomas consideradas.

Tabela 4.5 - Identificação dos polímeros a utilizar no 2º ensaio

	Código	Tipo de poli	Volume final	Toma
Sólidos	**poli 2**	Ambifloc 2016	250 ml	0,250 g
	poli 3	Ambifloc 2024	250 ml	0,250 g
Líquidos	**poli 4**	Ambifloc 21F	500 ml	0,500 ml

Na Figura 4.6 encontram-se as preparações de cada polímero das quais foram pipetadas as diferentes concentrações de polímero e adicionadas às amostras de 1 litro de água bruta.

Figura 4.6 - Preparação de polímero para o 2º Ensaio

No segundo ensaio testou-se também a influência que a adição de um coagulante teria nas eficiências de remoção para os parâmetros estipulados. Considerou-se o cloreto férrico como coagulante sendo adicionado à amostra numa dosagem de 40 ppm. Assim na Tabela 4.6 é possível observar o volume utilizado nos ensaios *Jar-Test* sendo que a densidade considerada do cloreto férrico utilizado foi de 1,44 g/mL.

Tabela 4.6 - Volume de coagulante a utilizar no Ensaio 2

Concentração final (mg/L)	**Volume final** (mL)	**Volume a utilizar** (mL)
40 mg/L	1000 mL	0,069 mL

Através do cálculo de diluição da solução foi possível chegar ao volume de 0,069 mL equivalente a 70 µl de cloreto férrico a adicionar às amostras de água bruta.

Deste modo, testaram-se novamente a eficiência da decantação assistida através de ensaios *Jar-test*, mas fazendo variar as doses de polímero a aplicar considerando-se ainda a dosagem do coagulante cloreto férrico com uma concentração fixa em todos os ensaios. Tal como no primeiro ensaio considerou-se uma amostra Branco à qual não houve adição de reagentes, mas existiu o processo de agitação. Esta amostra auxiliou todo o estudo *Jar-test* tendo sido possível, deste modo, comparar as taxas de eficiência de remoção entre as amostras em que houve adição de reagente e agitação e a amostra em que não houve adição. É de considerar que em todos os ensaios a amostra de afluente bruto foi agitada antes da divisão pelos diferentes gobelets com o objetivo de tornar a

amostra em estudo o mais homogénea possível evitando a deposição de sedimentos e a diferenciação das amostras em estudo nos diferentes ensaios.

Procedimento Laboratorial

O Ensaio 2 teve como objetivo avaliar qual o impacto que a variação das dosagens dos floculantes escolhidos teriam nas eficiências de remoção e por fim selecionar um floculante. Houve um acréscimo ao processo relativamente ao Ensaio 1, onde apenas houve uma mistura lenta. Isto é, no segundo ensaio considerou-se também uma mistura rápida, com a utilização de cloreto férrico, avaliando-se igualmente as vantagens ao nível das eficiências de remoção que este acréscimo traria ao tratamento.

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 é possível analisar as condições utilizadas no Ensaio 2.

Tabela 4.7 - Condições utilizadas na 1ª fase do Ensaio 2

Copo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Coagulante	$FeCL_3$	$FeCL_3$	$FeCL_3$	$FeCL_3$	$FeCL_3$
Dose	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm
Floculante	Ambifloc 2016	Ambifloc 2016	Ambifloc 2016	Ambifloc 2024	Ambifloc 2024
Dose	1 ppm	1,5 ppm	2 ppm	1 ppm	1,5 ppm

É de frisar que o ensaio foi dividido em duas fases já que o número de amostras em estudo era maior que o de agitadores do aparelho de *Jar-Test*.

Tabela 4.8 - Condições utilizadas na 2ª fase do 2º Ensaio

Copo	**1A**	**2A**	**3A**	**4A**	**B(Branco)**
Coagulante	FeCl3	FeCl3	FeCl3	FeCl3	-
Dose	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm	-
Floculante	Ambifloc 2024	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	-
Dose	2 ppm	1 ppm	1,5 ppm	2 ppm	-

Deste modo, adicionou-se cloreto férrico e estipulou-se uma velocidade de rotação de 99 rpm durante um minuto com o intuito de simular a coagulação (mistura rápida). De seguida foi feita a adição

dos diferentes polímeros a diferentes concentrações e adotou-se uma velocidade de rotação de 24 rpm durante 5 minutos para simular a floculação (mistura lenta).

Após os tempos estipulados de agitação foi seguido o mesmo procedimento que no primeiro ensaio. Deste forma, as amostras foram transferidas para provetas graduadas, onde foram feitos os registos das alturas do precipitado. Neste ensaio houve uma maior separação visível de sólido-líquido, sendo que foram registadas a altura de precipitado de 5 em 5 minutos e ao final dos 30 minutos.

Na Figura 4.7 é possível observar como foi realizado o registo da altura de precipitado após os ensaios *Jar-Test* seguidos de 30 minutos de decantação.

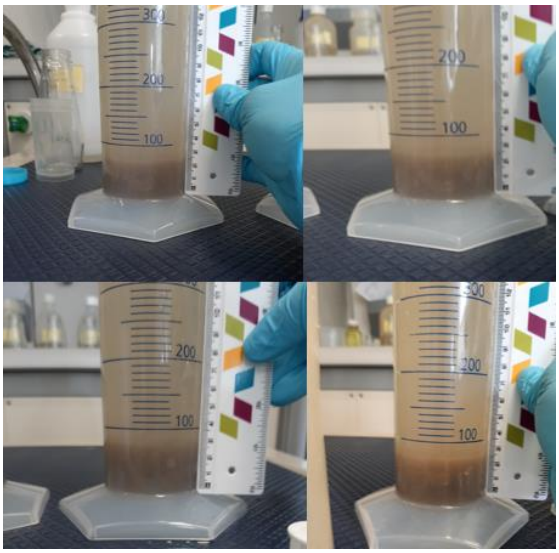


Figura 4.7 - Medições da altura de lamas após os 30 minutos de decantação

Através das seguintes medidas foi possível comparar as velocidades de sedimentação entre as diferentes amostras ao longo dos ensaios.

Foram também recolhidas amostras de sobrenadante de cada proveta com o intuito de realizar as determinações analíticas dos parâmetros em estudo. Na Figura 4.8 é possível observar as diferentes amostras do segundo ensaio prontas para serem realizadas as determinações.

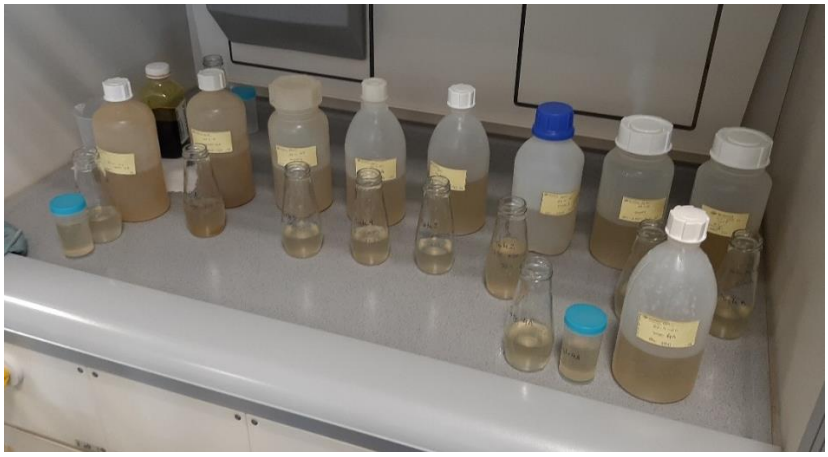


Figura 4.8 - Amostras de sobrenadante prontas para realizar as determinações

Ensaio 3

No terceiro e último ensaio considerou-se apenas um polímero, tendo sido este selecionado após o segundo ensaio. O polímero escolhido foi o polímero líquido Ambifloc 21F (poli 4).

O terceiro ensaio foi dividido em duas fases, cada uma delas com objetivos distintos. A primeira fase teve como objetivo entender se as eficiências de remoção aumentavam caso se aumentasse a dose do polímero escolhido. E na segunda fase o objetivo foi entender qual o impacto que uma recirculação de lamas em excesso à decantação primária assistida teria nas eficiências de remoção e na produção de lamas primárias.

As concentrações de polímero utilizadas na primeira fase foram de 1,5 ppm, 2 ppm e 3 ppm sendo o polímero preparado a uma concentração de 0,1%. A preparação do polímero foi feita conforme realizado no primeiro e segundo ensaio.

Na segunda fase, testaram-se três cenários diferentes. Consideraram-se 25%, 50% e 100% de recirculação de lamas em excesso, sendo que cada cenário foi testado com 2 ppm e 3 ppm do polímero Ambifloc 21F. Na Figura 4.9 é possível observar a amostra de lamas em excesso recolhida na ETAR do Barreiro/Moita

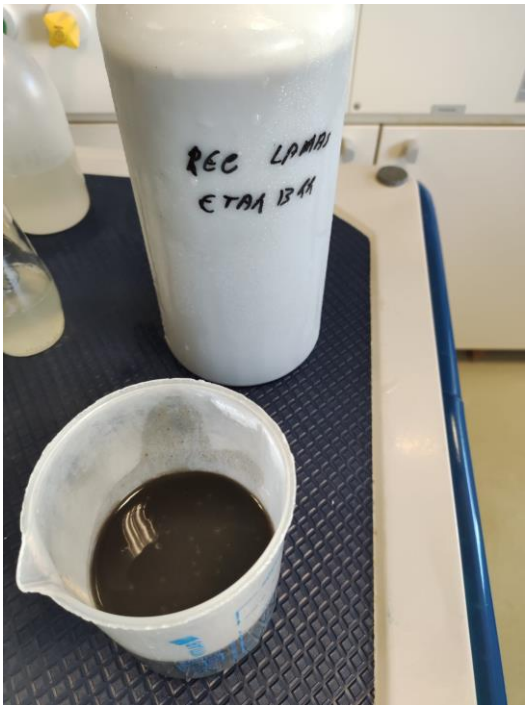


Figura 4.9 - Lamas em Excesso da ETAR do Barreiro/Moita

Em ambas as fases utilizou-se o cloreto férrico como coagulante sendo que o volume a aplicar foi calculado tal como no segundo ensaio.

Para calcular o volume de lamas em excesso a utilizar tendo em conta a percentagem de recirculação considerada foi necessário recorrer ao caudal médio diário de água bruta afluente bem como ao caudal médio diário de lamas em excesso produzidas na ETAR do Barreiro/Moita. Deste modo, obtiveram-se os valores 24203 m^3/dia de caudal de água bruta afluente e 134 m^3/dia caudal de lamas em excesso produzidas. Considerou-se que para 1 litro de amostra de água bruta em estudo em cada *Jar-Test* seriam adicionados 5,6 mL de lamas em excesso aquando da recirculação de 100%. Para uma recirculação de 50% considerou-se 2,8 mL de lamas em excesso e para 25% de recirculação considerou-se 1,4 mL de lamas em excesso.

Neste sentido, foi possível avaliar qual o impacto que a recirculação de lamas em excesso ao DPA terá na remoção de carga poluente da água residual, viabilizando assim a recuperação de coagulante presente nas lamas.

Considerou-se também uma amostra Branco apenas na primeira fase sendo esta utilizada futuramente para comparar os resultados de ambas as fases.

O procedimento utilizado durante os ensaios *Jar-test* foi o mesmo utilizado no primeiro e no segundo ensaio. Contudo, na segunda fase do terceiro ensaio, aquando da adição de cloreto férrico, adicionou-se também a dose de lamas em excesso calculada.

Procedimento Laboratorial

O terceiro ensaio dividiu-se 2 fases sendo que as condições utilizas estão representados na Tabela 4.9 e na Tabela 4.10.

Tabela 4.9 - Condições utilizadas na 1º fase do 3º Ensaio

Copo	**1**	**2**	**3**	**B(Branco)**
Coagulante	$FeCl_3$	$FeCl_3$	$FeCl_3$	-
Dose	40 ppm	40 ppm	40 ppm	-
Floculante	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	-
Dose	1,5 ppm	2 ppm	3 ppm	-

Tabela 4.10 - Condições utilizadas na 2º fase do 3ª Ensaio

Copo	**1A**	**2A**	**3A**	**4A**	**5A**	**6A**
Coagulante	$FeCl_3$	$FeCl_3$	$FeCl_3$	$FeCl_3$	$FeCl_3$	$FeCl_3$
Dose	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm	40 ppm
Lamas em excesso (Doses)	1,4 ml	2,8 ml	5,6 ml	1,4 ml	2,8 ml	5,6 ml
Floculante	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F	Ambifloc 21F
(Dose)	2 ppm	2 ppm	2 ppm	3 ppm	3 ppm	3 ppm

O procedimento utilizado na primeira fase seguiu a mesma conduta utilizada nos ensaios anteriores. Na segunda fase foi igualmente utilizado o mesmo procedimento que nos restantes ensaios com a exceção que aquando da adição de coagulante cloreto férrico, foi também adicionada a quantidade de lamas em excesso calculada anteriormente.

Assim, no final dos ensaios as amostras foram transferidas para as provetas graduadas onde repousaram durante 30 minutos e a partir das quais foram sendo registadas as alturas de sedimentação de forma periódica tal como foi realizado nos ensaios precedentes. Por último, o sobrenadante foi recolhido a fim de serem realizadas as determinações analíticas. Para ser possível efetuar o cálculo das eficiências de remoção com a simulação de recirculação de lamas em excesso foi necessário também analisar as propriedades qualitativas das lamas em excesso. Sendo assim, obteve-se uma concentração de 14900 mg/L de SST na amostra de lamas em excesso utilizada.

É de assinalar que em todos os ensaios, ao transferir as amostras dos gobelets para as provetas graduadas, existe a possibilidade de ocorrer quebra de flocos formados nos ensaios *Jar-test*. Em situação real, na passagem do afluente da zona de agitação para a zona de decantação também

existe um choque hidráulico provocando igualmente a quebra de flocos. Deste modo a quebra de flocos existente nos ensaios *Jar-test* pode ser comprada ao choque hidráulico existente numa situação real.

5. Resultados e Discussão

5.1 Caracterização do Afluente e Efluente

O presente estudo teve como base os dados da ETAR do Barreiro/Moita relativos ao ano 2021. É de referir que os dados de base podem apresentar valores irregulares e fora dos padrões espectáveis relativamente a anos anteriores. Isto deve-se ao facto do ano 2021 ter sido um ano atípico devido à situação pandémica registada. Deste modo, sendo que a rotina diária da população variou bastante nos dois últimos anos existiu a possibilidade de se verificarem cargas afluentes atípicas relativamente a anos anteriores. Além disso, existem registos que foram negligenciados uma vez que, devido à situação pandémica sentida ao longo de todo o ano 2021, existiram rotinas de amostragem que não foram cumpridas.

Assim, na Tabela 5.1 é possível observar a média mensal anual relativa às cargas afluentes à ETAR do Barreiro/Moita no ano de 2021. No Anexo A, encontra-se a tabela completa com a médias mensais referentes a cada mês.

Tabela 5.1 - Médias mensais anuais relativas ao ano 2021

Caudal (m^3/mês)	**Carga orgânica afluente** (kg CBO_5 /mês)	**Carga de CQO afluente (**kg CQO/mês)	**Carga de sólidos afluente** (Kg SST/mês)	**Carga de azoto afluente** (kg N/mês)	**Carga de fósforo afluente** (kg P/mês)
750293	313197	584141	250913	69695	6630

Em comparação com os dados base de dimensionamento hidráulico e relativos à população servida, caudais e cargas poluentes, é possível concluir que a ETAR recebeu caudal inferior ao caudal considerado na projeção da estação, ou seja, os valores registados no ano 2021 são inferiores aos valores para os quais a ETAR foi projetada. É de referir novamente que 2021 foi um ano atípico podendo haver correlação com a diferença de valores.

Relativamente ao efluente tratado, o meio hídrico onde é descarregado o efluente final é o Estuário do Tejo, estando este classificado como Zona sensível pelo Decreto-Lei nº. 152/97, de 19 de junho. Deste modo, o nível de tratamento implementado na ETAR do Barreiro/Moita tem de estar em concordância com os valores estipulados no diploma legal. Na Tabela 5.2 encontram-se os objetivos de tratamento definidos para os principais parâmetros de qualidade da água tratada à saída da linha principal da estação.

Tabela 5.2 Objetivos de tratamento - concentração dos principais parâmetros à saída da ETAR

Parâmetro	**Concentração**
CBO_5 (mg/L)	25
CQO (mg/L)	125
SST (mg/L)	35

Sendo que o objetivo deste estudo recai principalmente na otimização do tratamento primário é necessário sintetizar igualmente os dados relativos às cargas à saída do decantador primário no sentido de se obterem as eficiências de remoção possibilitando assim a comparação com os ensaios *Jar-test* realizados. Assim na Tabela 5.3 estão sumariadas as médias mensais anuais relativas às cargas à saída do decantador primário.

Tabela 5.3 - Médias mensais anuais do ano 2021 relativas às cargas à saída do decantador primário

Carga de CBO_5 (kg CBO5/mês)	**Carga de CQO** (kg CQO/mês)	**Carga de sólidos** (Kg SST/mês)
193852	384592	99581

Deste modo, tendo em conta o objetivo do presente estudo, foi necessário determinar as eficiências do tratamento primário sendo assim possível comparar com os resultados dos ensaios efetuados. Assim na Tabela 5.4 é possível observar as eficiências de remoção no tratamento primário obtidas através das cargas afluentes e cargas à saída do tratamento primário.

Tabela 5.4 - Médias mensais anuais das eficiências de remoção no tratamento primário relativas ao ano de 2021

Eficiência de remoção (%)		
CBO_5	**CQO**	**SST**
38	34	60

5.2 Caracterização qualitativa das lamas primárias produzidas na ETAR

A ETAR do Barreiro/Moita está equipada com quatro decantadores lamelares. Estes órgãos são a origem das lamas primárias que são recolhidas por meio de raspadores de fundo transversais. No ano 2021 houve uma produção média mensal anual de lamas primárias de 3139 m^3/mês com uma concentração de 27022 mg/L de SST e 20790 mg/L de SSV.

5.3 Melhor formulação de reagentes para otimizar a eficiência da decantação primária

Como foi referido no capítulo dos Materiais e Métodos foram realizados 3 ensaios distintos com o objetivo de aferir qual a melhor conjugação de reagentes a utilizar no sentido de se obterem as melhores eficiências de remoção possíveis.

Ensaio 1

No primeiro ensaio foram testados cinco polímeros disponibilizados para o presente estudo dos quais três polímeros sólidos e dois polímeros líquidos. O objetivo do mesmo foi a seleção de dois polímeros sólidos e um polímero líquido que apresentassem melhores eficiências de remoção para os parâmetros em estudo, representado assim os melhores floculantes a utilizar no ensaio seguinte. Na Figura 5.1 é possível relacionar as eficiências dos polímeros em estudo para os diferentes parâmetros. A tabela com as determinações analíticas dos sobrenadantes de cada amostra bem como a amostra Branco encontram-se no Anexo B. É de referir que as eficiências registadas foram obtidas em comparação com a amostra Branco que representou uma amostra de afluente bruto sem agitação e sem adição de reagentes.

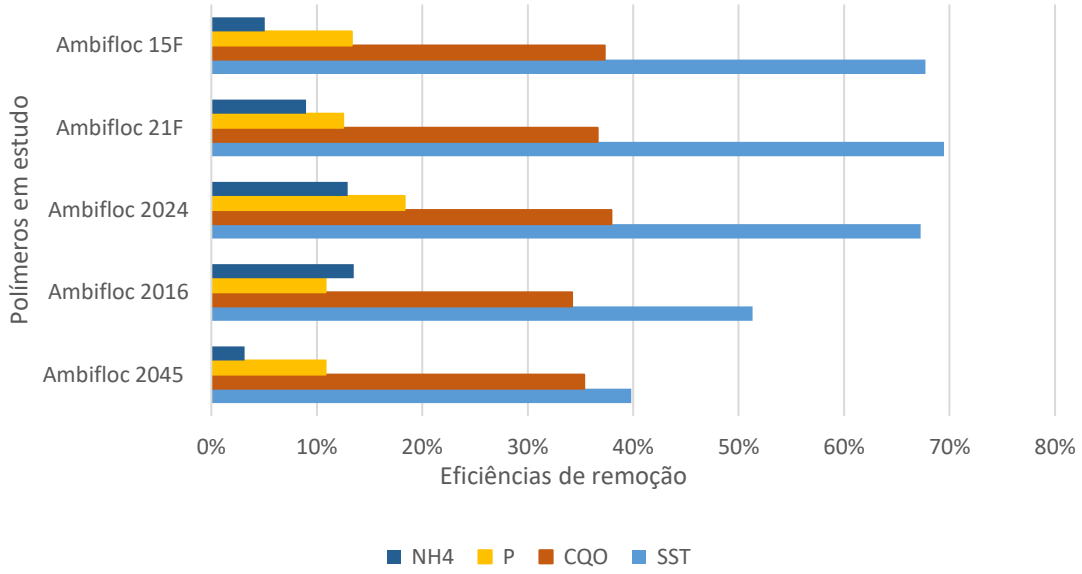


Figura 5.1 - Eficiências de remoção registadas no 1º Ensaio

Deste modo, é possível concluir que o polímero líquido Ambifloc 15F, o polímero líquido Ambifloc 21F e o polímero sólido Ambifloc 2024 apresentaram melhores eficiências para os parâmetros em estudo. Em comparação com as eficiências de remoção registadas no tratamento primário ao longo de 2021, é possível aferir que estas são bastante semelhantes às eficiências de remoção registadas no 1º ensaio realizado. Contudo este primeiro ensaio tinha como objetivo apenas selecionar os polímeros para o 2º ensaio sendo que foram utilizadas concentrações baixas de polímero e não houve adição de coagulante, daí os ganhos em comparação com as eficiências remoção no tratamento primário reduzidos.

Assim, foram escolhidos, para o 2º Ensaio o polímero líquido Ambifloc 21F, o polímero sólido Ambifloc 2024 e o polímero sólido Ambifloc 2016. Apesar do polímero líquido Ambifloc 15F apresentar melhores eficiências de remoção que o polímero solido 2016, o objetivo planeado foi selecionar apenas 1 polímero líquido e 2 polímeros sólidos.

Ensaio 2

No segundo ensaio foram utilizados os 3 polímeros selecionados anteriormente, contudo as doses a aplicar foram variáveis. Além de se aferir qual a melhor dose para cada polímero selecionado foi também adicionado o cloreto férrico como coagulante com o objetivo de analisar qual o impacto que este teria, em conjunto com os diferentes polímeros (floculantes), em comparação com o ensaio anterior. Assim, as eficiências de remoção registadas no segundo ensaio para os parâmetros em estudo relativas ao polímero Ambifloc 2016, Ambifloc 2024 e Ambifloc 21F estão presentes na Figura 5.2, na Figura 5.3 e na Figura 5.4, respetivamente. No Anexo B são apresentadas as determinações analíticas do sobrenadante para cada parâmetro em estudo bem como a amostra Branco.

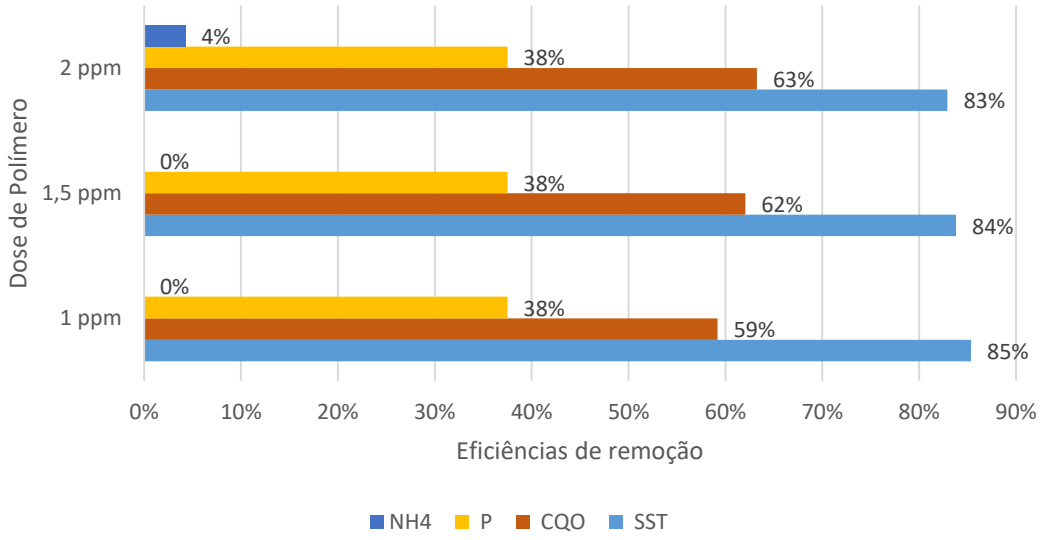


Figura 5.2 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 2016

Através da Figura 5.2 é possível concluir que quanto menor é a dose do polímero Ambifloc 2016 maior é a eficiência de remoção de SST. Já a eficiência de remoção de CQO é superior para doses maiores de polímero. Relativamente à remoção de Fósforo, as 3 dosagens apresentam a mesma eficiência de remoção. Para o NH_4 as taxas de remoções são nulas ou muito pequenas.

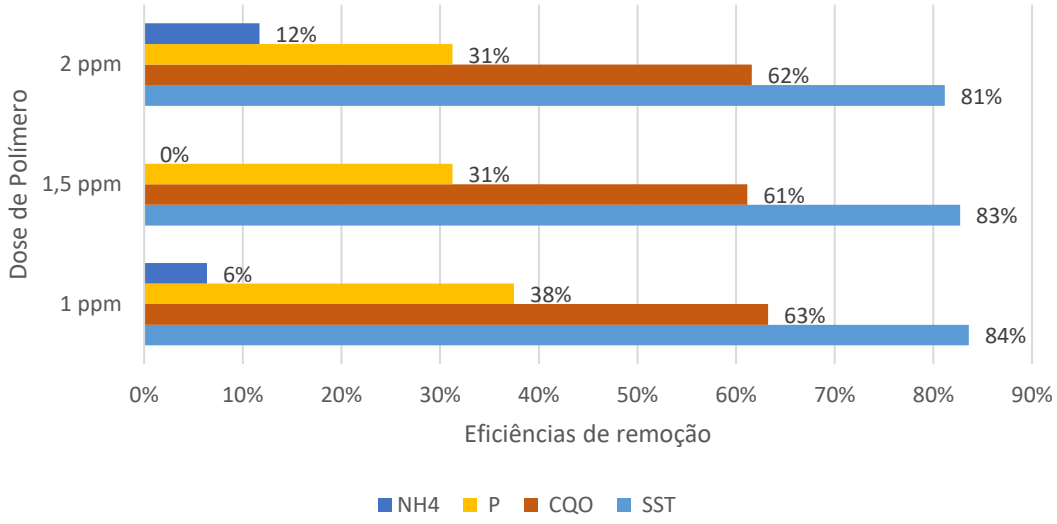


Figura 5.3 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 2024

Para o polímero Ambifloc 2024, tal como para o polímero Ambifloc 2016, a eficiência de remoção de SST aumenta quando se reduz a dose de polímero assim como as eficiências de remoção de CQO e Fósforo que são superiores para a dosagem de 1 ppm de polímero. Já para a remoção de NH_4 a dosagem de 2 ppm apresentou a melhor eficiência.

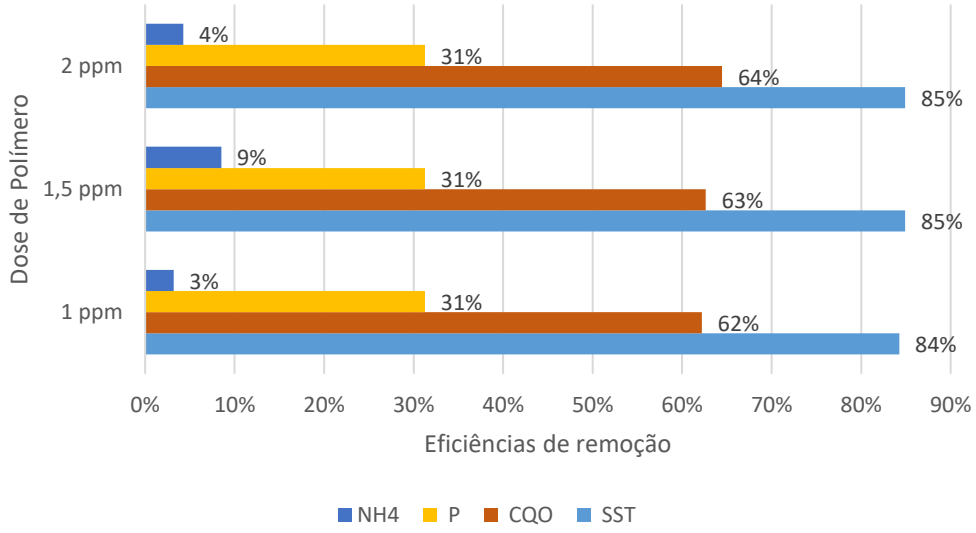


Figura 5.4 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 21F

Por último, o polímero Ambifloc 21F apresenta eficiências de remoção de SST e de Fósforo bastante semelhantes para as diferentes dosagens de polímero. Relativamente à eficiência de remoção de CQO a maior dosagem (2 ppm) apresenta eficiência superior.

Em suma, os três polímeros em estudo apresentam eficiências de remoção na mesma ordem de grandeza, isto é, para os diferentes parâmetros os valores entre polímeros são semelhantes. É possível afirmar que para os polímeros sólidos as eficiências de remoção de SST são superiores para menores dosagens dos mesmos, já no polímero líquido o mesmo não se verifica. Assim, numa análise global considerou-se que o polímero líquido Ambifloc 21F apresentou melhores eficiências de remoção de forma geral. Contudo, é possível afirmar que relativamente à remoção de Fósforo, os polímeros sólidos apresentam melhores eficiências de remoção que o polímero líquido.

Deste modo, selecionou-se o polímero líquido Ambifloc 21F para prosseguir o estudo no terceiro ensaio.

Ensaio 3

Como já foi referido, o terceiro ensaio foi divido em duas fases, cada uma delas com objetivos diferentes.

Na primeira fase foi apenas utilizado o polímero escolhido no ensaio anterior. Foram testadas diversas dosagens deste com o intuito de revalidar as conclusões retiradas no ensaio anterior. Tal como no segundo ensaio foi utilizado o cloreto férrico como coagulante. Na Figura 5.5 é possível observar as diferentes eficiências de remoção para as diferentes dosagens do polímero Ambifloc 21F em comparação com a amostra de água residual bruta.

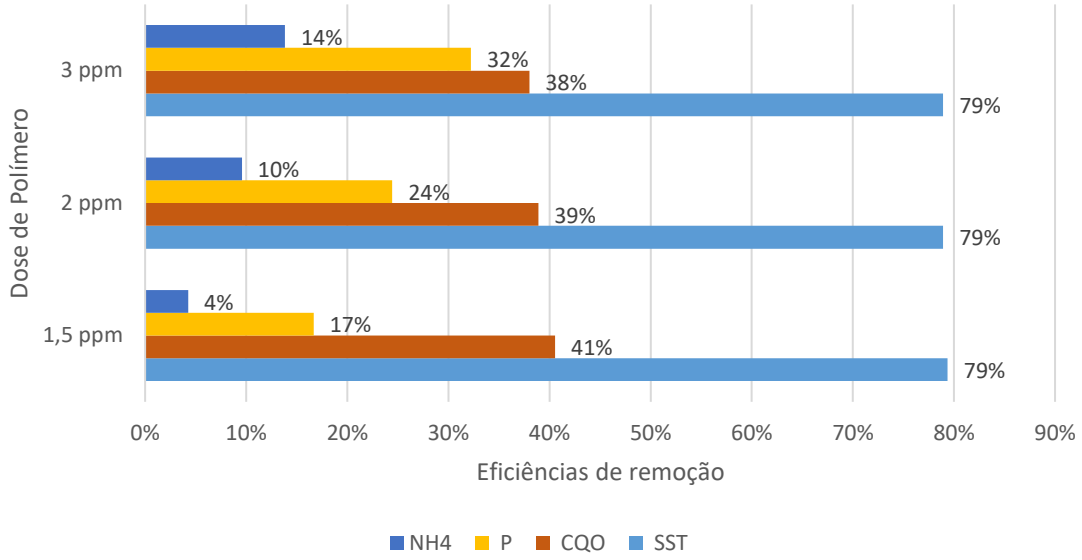


Figura 5.5 - Eficiências de remoção para diferentes doses do polímero Ambifloc 21F registada na primeira fase do 3º Ensaio

Ao analisar os resultados do terceiro ensaio é possível aferir que as eficiências de remoção são inferiores às registadas no segundo ensaio. Esta ocorrência, a nível laboratorial, é justificável pelo facto de os ensaios terem sido feitos em datas diferentes sendo que as características do afluente bruto podem ter ligeiras variações na sua caracterização qualitativa. Além disso, sendo estes resultados obtidos através de ensaios laboratoriais existe sempre um grau de incerteza associado a cada ensaio. Apesar disso, é possível verificar que os resultados obtidos seguem o padrão registado no ensaio anterior. Isto é, para doses superiores de polímero Ambifloc 21F não se verifica um aumento significativo nas eficiências de remoção. As eficiências de remoção de SST registadas no terceiro ensaio são iguais para as três dosagens. Para a CQO as eficiências são semelhantes, mas é possível observar que para a menor dose testada (1,5 ppm) a eficiência de remoção é superior. Para o Fósforo, é possível verificar um aumento da eficiência de remoção para doses superiores. E por último, tal como para o Fósforo, as eficiências de remoção de NH_4 apresentam valores superiores para uma dosagem superior.

Deste modo, ao analisar os resultados é possível concluir que os ganhos aquando do aumento da dosagem de polímero não são significativos. Deste modo é possível concluir que a nível de custo/benefício a dosagem de 1,5 ppm de polímero apresenta os resultados mais favoráveis sendo que o aumento da dosagem não se reflete significativamente nas eficiências de remoção.

Tal como foi descrito anteriormente foram também realizados ensaios simulando uma recirculação de lamas em excesso à DPA de 25%, 50% e 100% sendo registados igualmente quais os impactos que esta recirculações teriam ao nível das eficiências de remoção aquando da adição das lamas em excesso em conjugação com o cloreto férrico e o polímero Ambifloc 21F. Na Figura 5.6 e na Figura 5.7 é possível verificar os resultados obtidos para dosagens de polímero de 2 ppm e 3 ppm respetivamente.

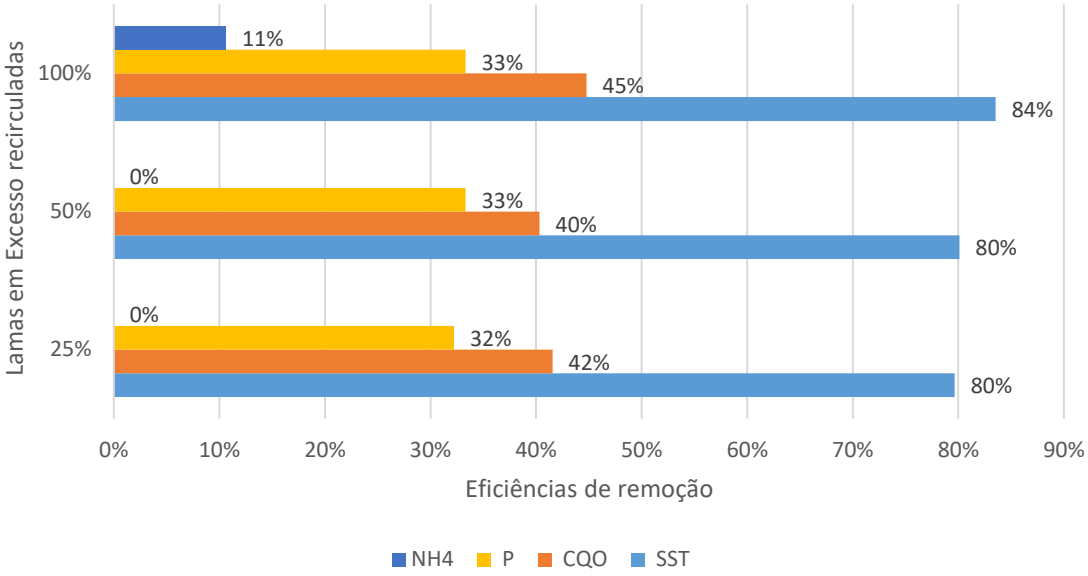


Figura 5.6 - Eficiências de remoção para diferentes percentagens de recirculação de lamas em excesso para uma dose de 2 ppm do polímero Ambifloc 21F

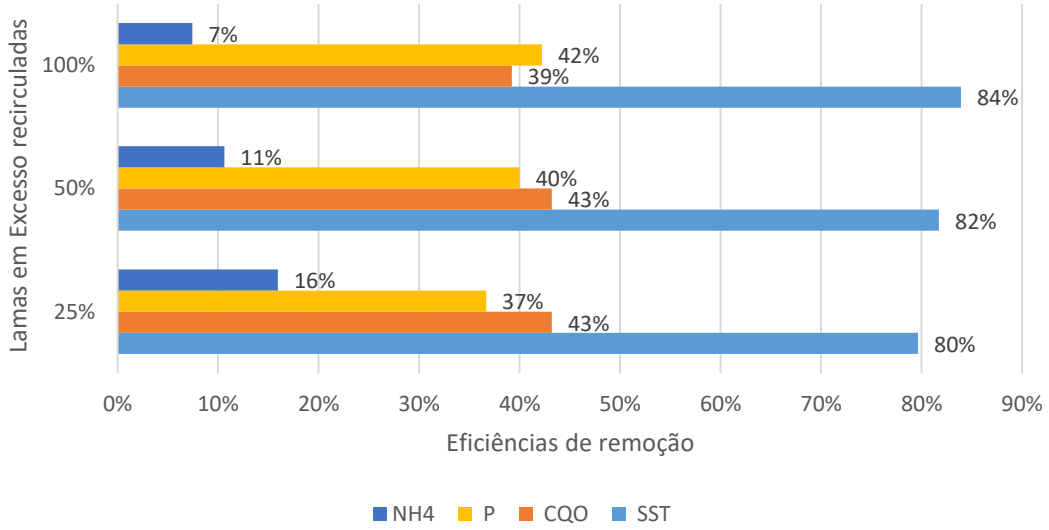


Figura 5.7 - Eficiências de remoção para diferentes percentagens de recirculação de lamas em excesso para uma dose de 3 ppm do polímero Ambifloc 21F

Ao analisar as figuras anteriores é possível concluir que, considerando uma recirculação de lamas em excesso ao DPA, existe um aumento na generalidade das eficiências de remoção para os parâmetros em estudo. Como é possível observar na Figura 5.6, para maiores doses de polímero Ambifloc 21F verificam-se maiores eficiências de remoção de Fósforo e de NH_4. Contudo, relativamente à remoção de SST e CQO as eficiências não representam ganhos significativos aquando do aumento da dose de polímero.

Relativamente à percentagem de recirculação, é possível deduzir que para percentagens superiores, as eficiências de remoção registadas também são superiores. Adicionalmente,

considerando-se uma recirculação de lamas em excesso ao TPA é possível estimar também uma maior produção de lamas no tratamento primário.

Deste modo, ao analisar os resultados obtidos nos três ensaios conclui-se que o polímero líquido Ambifloc 21F apresentou, de um modo geral, melhores eficiências de remoção para os parâmetros em estudo em comparação com os restantes polímeros analisados. É de referir que apenas é possível retirar estas conclusões para a água residual bruta da ETAR do Barreiro/Moita.

Verificou-se também que ao aumentar a dose de polímero Ambifloc 21F os resultados obtidos relativos à eficiência de remoção não são significativos considerando-se que a dose ideal é de 2 ppm de polímero Ambifloc 21F. Já na última fase do terceiro ensaio, conclui-se que, considerando uma recirculação de lamas em excesso ao TPA as eficiências de remoção aumentam e são superiores para maiores percentagens de recirculação das mesmas. Contudo, quanto maior for a recirculação maior será a produção de lamas primárias. Assim é possível deduzir que a existência de uma recirculação de lamas em excesso ajuda no processo de remoção de carga poluente na água.

Por último, fez-se a comparação das eficiências de remoção obtidas ao longo dos ensaios *Jar-test*, com as eficiências de remoção obtidas a partir dos dados de base referentes ao ano de 2021 da ETAR do Barreiro/Moita. Assim é possível verificar que a utilização de um TPA, em comparação com o tratamento primário convencional, apresenta melhores eficiências de remoção de carga poluente. Considerando uma recirculação de lamas em excesso ao TPA também foi possível verificar um aumento das eficiências de remoção. Contudo, é necessário avaliar quais os impactos que a afluência de menor carga poluente aos tratamentos a jusante do TPA terá no processo de tratamento da água residual assim como na influência deste na produção de lamas primárias e lamas em excesso.

É importante sublinhar que as diferenças nas eficiências de remoção registadas ao longo dos diferentes ensaios para as mesmas condições podem ocorrer devido aos ensaios terem sido realizados em dias diferentes podendo haver oscilações nas cargas poluentes presentes na água residual bruta afluente à ETAR. Além disso existe sempre um grau de incerteza associado aos ensaios laboratoriais. Contudo, as ilações retiradas ao longo dos 3 ensaios realizados são semelhantes sendo possível afirmar que existe coerência nos resultados obtidos.

5.4 Impactos do TPA e definição de cenários

No seguimento dos ensaios *Jar-test* realizados ao longo do estudo, escolheram-se 3 cenários a serem estudados. A partir destes serão simuladas as restantes etapas do tratamento tendo em conta as novas afluências de carga poluente às diferentes etapas de tratamento. É de frisar que todos os cenários incluem uma dosagem de 40 ppm de cloreto férrico como coagulante. Assim, os cenários escolhidos são os seguintes:

- Cenário 1 – 2 ppm de polímero líquido Ambifloc 21F
- Cenário 2 – 2 ppm de polímero líquido Ambifloc 21F e considerando uma recirculação de 50% de lamas em excesso ao TPA
- Cenário 3 – 2 ppm de polímero líquido Ambifloc 21F e considerando uma recirculação de 100% de lamas em excesso ao TPA

Escolheu-se o polímero líquido Ambifloc 21F para simular os cenários de estudo já que após o primeiro e segundo ensaios, conclui-se que este seria o polímero que apresentava melhores eficiências de remoção para a água residual bruta em estudo e para as condições simuladas nos ensaios Jar-Test. Escolheu-se a dose de 2 ppm de polímero, visto que ao longo dos ensaios se verificou que um aumento da dose deste não representaria um benefício significativo. Além disso, para tornar os resultados o mais fidedignos e comparáveis possíveis consideraram-se apenas cenários simulados no terceiro ensaio, visto que as eficiências de remoção podem apresentar diferenças de ensaio para ensaio já que estes foram feitos em diferentes dias em que a água residual bruta em estudo poderia apresentar ligeiras diferenças a nível qualitativo. Escolheu-se ainda um cenário com 2 ppm de polímero líquido e considerando uma recirculação de 50% de lamas em excesso e outro com a mesma dose de polímero, mas considerando uma recirculação de 100% de lamas em excesso à DPA. Escolheram-se estes dois cenários visto que, a partir dos resultados obtidos no último ensaio, foi possível aferir que as lamas em excesso possuem propriedades coagulantes e em conjunto com o polímero e o cloreto férrico, apresentaram eficiências de remoção superiores em comparação com as simulações com apenas polímero e cloreto férrico. Ainda foi possível deduzir que, quanto maior a percentagem de recirculação de lamas em excesso, maiores são as eficiências de remoção dos parâmetros em estudo.

Na Tabela 5.5 é possível observar as eficiências de remoção obtidas para cada um dos cenários escolhidos. É de referir que todas as eficiências de remoção consideradas e que serão utilizadas no seguimento do estudo, são referentes ao último ensaio para que os resultados obtidos ao longo do estudo sejam comparáveis entre si.

Tabela 5.5 - Eficiências de remoção de carga poluente obtida nos ensaios *Jar-tes*t para os cenários escolhidos em comparação com as eficiências de remoção registadas no tratamento primário da ETAR do Barreiro/Moita em 2021

	Eficiência de remoção (%)				
	SST	**CBO_5**	**CQO**	**P**	**N**
Cenário 1	79	-	39	24	10
Cenário 2	80	-	40	33	-
Cenário 3	84	-	45	33	11
TP existente (2021)	60	38	34	-	-

Ao analisar os valores obtidos é possível concluir que a utilização de um TPA promove a remoção de carga poluente no tratamento primário em comparação com um tratamento primário

convencional. A recirculação de lamas em excesso ao TPA (cenário 2 e 3) regista igualmente valores mais elevados de remoção, confirmando-se assim o impacto positivo no tratamento primário.

Como já foi referido, ao longo dos ensaios *Jar-Test* não foram realizadas determinações analíticas referentes ao CBO_5. Contudo foram feitas determinações relativas ao CQO a partir das quais se obtiveram as eficiências de remoção associadas a cada ensaio. É possível constatar a partir dos dados base referentes à ETAR do Barreiro/Moita no ano 2021, que a relação da carga CQO/CBO_5 afluente à ETAR é de 1,88 e afluente ao RB é de 1,98 refletindo assim uma maior eficiência de remoção no tratamento primário de CBO_5 em relação ao CQO. Isto deve-se ao facto da CQO representar a totalidade da matéria orgânica presente na água suscetível a ser oxidada quimicamente enquanto a CBO_5 representa parte dessa matéria orgânica, isto é apenas a matéria orgânica biodegradável (Marecos do Monte et al.,2016). Assim sendo, já que ao longo do estudo é necessário estimar a remoção de CBO_5 para analisar os impactos que a TPA terá a jusante como por exemplo ao nível das necessidades de oxigénio no tratamento biológico, estimou-se as eficiências de remoção de CBO_5 a partir das eficiências de remoção registadas nos ensaios para o CQO.

Na Tabela 5.6 é possível analisar as estimativas feitas para a eficiências de remoção de CBO_5 para os cenários em estudo.

Tabela 5.6 - Estimativa das eficiências de remoção de CBO_5 a partir das eficiências de remoção de CQO obtidas para os cenários em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Eficiências de remoção de CQO (%)	34	39	40	45
Eficiências de remoção de CBO_5 (%)	38	44	45	50

Na Tabela 5.7 é ainda possível observar o impacto do TPA e das recirculações nas concentrações de SST e CBO_5 no efluente do TP para os diferentes cenários em estudo. Estas concentrações têm em consideração a recirculação de lamas em excesso, assim como a carga de escorrências provenientes das etapas de espessamento mecânico e desidratação. Os valores referentes às escorrências serão apresentados nos capítulos seguintes.

Tabela 5.7 - Concentrações de SST e CBO_5 no efluente do TP

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Concentração de SST (mg/L)	142	76	93	90
Concentração de CBO_5 (mg/L)	259	234	258	249

Como seria de esperar, o cenário 1 apresenta menores concentrações de poluentes no efluente à saída do tratamento primário já que este representa a utilização de um TPA sem recirculação

de lamas em excesso. Os cenários 2 e 3 também apresenta uma redução da concentração de SST, sendo inferior relativamente ao cenário 1 visto que em ambos os cenários apresentam a recirculação de lamas em excesso, contribuindo para o aumento da concentração de SST em comparação com o cenário 1. Relativamente à concentração de CBO_5 existe uma manutenção da mesma nos cenários 2 e 3 em comparação com o cenário referência. Assim, é possível constatar que existe captura de carga poluente presente nas lamas recirculadas no TPA.

5.4.1Velocidades de sedimentação na Decantação Primária

Durante os ensaios *Jar-Test*, mais especificamente na etapa final de sedimentação, foi possível verificar que para as diferentes amostras em estudo, a velocidade e a altura do sedimentado na proveta de decantação variavam.

Neste sentido, foram recolhidos os valores da altura do sedimentado ao longo da etapa de sedimentação com o intuito de procurar entender qual o impacto que o processo de coagulação/floculação teria na sedimentação de lamas na operação de decantação. Contudo, não foram realizadas determinações analíticas do sedimentado.

No Anexo C é possível observar as imagens relativas ao registo final (após 30 minutos de repouso na proveta) da altura de sedimentado nas amostras relativas aos três cenários selecionados. É possível observar também a altura do sedimentado na amostra branco, que representa o cenário de referência. Os 4 registos são relativos ao 3º ensaio *Jar-Test* realizado.

Analisando os resultados obtidos, foi possível constatar que a altura do sedimentado e a velocidade de decantação aumentam ligeiramente aquando do incremento das eficiências de remoção registadas para as diferentes amostras. Esta situação dever-se-á ao aumento das dimensões dos flocos durante a etapa de coagulação/floculação e consequentemente melhor sedimentabilidade.

Para que exista a separação sólido-líquido no tratamento primário é necessário que o tempo de retenção da água residual no decantador primário seja suficiente para que as partículas atinjam o fundo do tanque (Marecos do Monte et al, 2016). Havendo um aumento da velocidade de sedimentação existe uma redução do tempo de retenção necessário para que as partículas decantem. Assim os decantadores apresentam a possibilidade de receber mais caudal em causa de necessidade.

5.4.2 Impactos no Tratamento Biológico

Como foi descrito na revisão da literatura, o arejamento realizado nos RB é um dos grandes consumidores energéticos numa ETAR. Deste modo, um dos grandes objetivos da utilização de um TPA é a redução da necessidade de arejamento e consecutivamente a redução do consumo de energia global da ETAR. Assim os três cenários estipulados em cima foram utilizados para calcular as necessidades de oxigénio associadas ao tratamento biológico da água residual, no sentido de

compreender qual o impacto que a utilização de uma TPA teria em comparação com o tratamento primário convencional utilizado na ETAR do Barreiro/Moita. As estimativas de necessidade de oxigénio foram feitas a partir das Equações 2.2 e 2.3 descritas no capítulo 2.

Na Tabela 5.8 é possível observar as cargas de CBO_5 afluente ao RB e as cargas previstas de CBO_5 no efluente. Através desses valores foram calculadas as necessidades de oxigénio e a razão de transferência de oxigénio no tratamento biológico para o ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita, bem como a comparação com os cenários em estudo.

Tabela 5.8 - Estimativa das necessidades de oxigénio referentes ao tratamento biológico na ETAR do Barreiro/Moita em comparação com os cenários em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga Afluente (kg CBO_5 /dia)	6263	5658	6238	6035
Carga Efluente (kg CBO_5/dia)	605	605	605	605
AOR Total requerido (kg O_2 /dia)	6012	5678	5997	5886
SOTR (kg O_2 /dia)	10875	10272	10849	10647

Ao analisar os valores obtidos é possível concluir que, em relação ao cenário referente ao ano 2021, no cenário 1 existe uma redução das necessidades de oxigénio e, consequentemente, uma redução da razão de transferência de oxigénio. Esta redução reflete a maior captura de CBO_5 no tratamento primário havendo assim menor afluência de carga ao tratamento biológico, refletindo-se nas exigências de oxigénio no mesmo.

Relativamente aos cenários 2 e 3, apesar de representarem maiores eficiências de remoção de CBO_5 no TPA, existe também uma recirculação de lamas em excesso, refletindo-se num aumento de carga de CBO_5 afluente ao RB. Entre estes cenários, o cenário 3 representa uma maior afluência de carga poluente ao TPA devido a recirculação da totalidade das lamas. Contudo, apresenta melhor eficiência de remoção de CBO_5 refletindo-se numa menor afluência deste ao RB como é possível observar na Tabela 5.8. Em relação ao cenário de referência, nos cenários 2 e 3 existe uma manutenção da carga afluente ao RB.

É de referir ainda que nos cenários onde foram simuladas recirculações de lamas em excesso ao TPA, foi necessário recorrer a diversas iterações até que o valor de carga poluente afluente ao TPA estabilizasse.

Quanto menor for a carga de CBO_5 afluente ao RB, menor é a eficiência exigida ao tratamento biológico. Assim, na Tabela 5.9 é possível observar as eficiências de remoção de CBO_5 exigidas no RB.

Tabela 5.9 - Eficiências de remoção de CBO_5 exigidas no RB

	2021	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Eficiências de remoção de CBO_5 exigidas no RB (%)	90	89	90	90

É possível ainda observar que existe uma redução pouco significativa de exigência de remoção para o cenário 1 e uma manutenção das exigências para o cenário 2 e 3, em comparação com o cenário referente ao ano 2021.

É de notar que as cargas de CBO_5 efluentes refletem a concentração máxima permitida de 25 mg/L de CBO_5 no efluente tratado tendo em conta o caudal afluente à ETAR do Barreiro/Moita ao longo do ano 2021 estipulado pelo Decreto-Lei nº152/97 de 19 de julho.

Além das mais-valias no tratamento biológico associadas à utilização de um TPA, é necessário verificar se o doseamento de coagulante no TPA poderá causar alterações ao nível do pH na água residual a ser tratada, causando assim impactos na atividade microbiológica e afetando a etapa seguinte de tratamento. Deste modo, ao longo dos ensaios realizados analisou-se o pH em cada amostra branco e para cada amostra testada. Assim, na Tabela 5.10 estão detalhados o pH de cada amostra Branco em cada ensaio, bem como as variações registadas nas amostras em que foi simulado o TPA.

Tabela 5.10 - Resumo do pH registado ao longos dos 3 ensaios realizados

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
pH na amostra Branco	7,73	8,21	7,65
Variação de pH nas restantes amostras	7,72 - 7,79	8,01 - 8,12	7,29 - 7,54

Ao analisar a tabela anterior, é possível verificar que no primeiro ensaio não existiram variações significativas ao nível do pH. É de assinalar que neste ensaio houve adição de floculante, mas não houve adição de coagulante podendo justificar assim as variações quase nulas registadas no pH. Já no segundo ensaio foi possível verificar que para as amostras testadas, aquando da adição de coagulante em conjunto com o floculante houve uma diminuição do pH relativamente à amostra Branca. No terceiro e último ensaio foram retiradas as mesmas ilações que no segundo ensaio.

Contudo, como foi descrito na revisão da literatura, o pH ótimo para o crescimento da atividade microbiológica é entre 6,5 e 7,5. Como é possível verificar, todos os valores registados relativos ao pH são superiores ao intervalo de valores ótimos o que pode trazer impactos negativos relativos ao tratamento biológico. Todavia, verificou-se uma redução de pH aquando da adição de coagulante o que representa uma mais-valia ao tratamento.

Além disso, é necessário analisar, se com as novas eficiências de remoção registadas no TPA, o rácio C:N:P se mantém próximo da relação pretendida. Caso este rácio não seja respeitado, a atividade microbiológica existente no tratamento secundário pode ser comprometida. Deste modo, é necessário analisar este fenómeno para cada um dos cenários exploratórios. Na Tabela 5.11 estão sumariados os valores relativos às cargas afluentes ao tratamento biológico, para os diferentes cenários em estudo.

Tabela 5.11 - Cargas afluentes ao tratamento biológico para os diferentes cenários em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga de CBO_5 afluente (kg/d)	6264	5658	6238	6035
Carga de N afluente (kg/d)	2136	2023	2023	2001
Carga de P afluente (kg/d)	192	163	143	143

Assim, é possível analisar a correlação entre as diferentes cargas afluentes ao tratamento biológico. Na Tabela 5.12 estão considerados os rácios de C:N:P registados para o ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita bem como dos três cenários exploratórios em estudo.

Tabela 5.12 - Rácios C:N:P registados no ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita e dos três cenários exploratórios em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Rácio C:N:P	100:34:3	100:36:3	100:33:2	100:33:2

Ao analisar os dados apresentados é possível concluir que o rácio não apresenta variações significativas aquando da aplicação do TPA. Nos cenários em estudo não existe um défice significativo de nutrientes afluentes ao tratamento biológico em comparação com o cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita. Como seria de esperar, no cenário 1 existe uma menor afluência de CBO_5 ao tratamento biológico devido ao aumento de eficiência de remoção no TPA, criando assim uma diminuição da disponibilidade de carbono em relação ao azoto e ao fósforo no tratamento biológico. Nos cenários 2 e 3 também existe um aumento de remoção de CBO_5 no TPA, mas a recirculação de lamas em excesso aumenta a disponibilidade de carbono. Assim, é possível afirmar que, teoricamente, a aplicação do TPA no caso em estudo não irá comprometer a disponibilidade de nutrientes essenciais ao funcionamento do tratamento biológico praticado na ETAR. Contudo, em caso de necessidade, será possível alterar parâmetros operacionais como a idade de lamas e a taxa de recirculação de lamas ao tratamento biológico, com o intuito de alcançar os rácios pretendidos.

5.4.3 Impactos na produção global de lamas na estação

Como foi referido ao longo do presente estudo, o TPA apresenta também um impacto significativo na produção global de lamas da ETAR. Deste modo, é uma mais valia entender de que forma o TPA influencia na produção de lamas primárias e na produção de lamas em excesso em comparação com o tratamento convencional existente. A produção global de lamas na estação reflete-se igualmente na produção de biogás na ETAR, tendo também um impacto na produção de energia da mesma.

O caudal de lamas primárias referente ao tratamento atual na ETAR do Barreiro/Moita foi estimado a partir das médias mensais anuais da carga afluente e das taxas de eficiências registadas ao longo do ano 2021. Durante esse ano a média mensal anual da concentração de SST afluente ao tratamento primário foi de 377 mg/L e a concentração das lamas no tratamento primário é de 27 kg/m^3. Sendo que no presente estudo não houve caracterização qualitativa do sedimentado durante os ensaios *Jar-test*, não foi possível determinar analiticamente a concentração de lamas primárias para os cenários estudados. Todavia, seria de esperar que a concentração de lamas fosse igual ou superior à obtida no cenário do ano de referência, visto que existe um aumento de eficiência de remoção de SST nos cenários em estudo. No cenário 2 e 3 existe também uma recirculação de lamas em excesso ao TPA, sendo igualmente expectável um aumento da concentração de lamas primárias. Para o presente estudo académico, considerou-se que a concentração de lamas primárias para os diferentes cenários seria igual à concentração média obtida durante o ano 2021. Deste modo, no caso de concentração real ser superior à concentração considerada no presente estudo, o caudal de lamas seria inferior, não comprometendo a capacidade hidráulica dos órgãos nem a capacidade dos equipamentos.

A cargas de SST removidas e os caudais de lamas primárias referentes aos cenários em estudo foram estimados através das eficiências de remoção de SST no tratamento primário obtidas através dos ensaios realizados ao longo do presente estudo. Assim na Tabela 5.13 é possível comparar a produção de lamas primárias utilizando o tratamento convencional com as estimativas de produção de lamas primárias associadas aos cenários em estudo.

Tabela 5.13 - Estimativa de produção de lamas referentes aos cenários em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Eficiência de remoção de SST (%)	60	79	80	84
Carga de SST removido (kg/dia)	5320	7127	9224	11655
Q lamas primárias (m^3/dia)	197	264	341	431

Como é possível verificar, existe um aumento significativo de produção de lamas primárias aquando da utilização de uma DPA, em vez de uma decantação primária convencional. Este aumento, é totalmente justificado pelo facto de uma decantação assistida quimicamente possuir maiores taxas

de remoção de cargas poluentes em relação ao tratamento convencional e consequentemente, maior produção de lamas primárias. Sendo que o cenário 2 e 3 refletem cenários exploratórios em que existe recirculação de lamas em excesso à etapa de coagulação/floculação, é expectável que, existindo maior remoção de SST, haja maior produção de lamas. Existe assim um aumento de produção de lamas primárias de 34% para o cenário 1 e 73% para o cenário 2 e 119% para o cenário 3.

É importante referir que os equipamentos (tais como as bombas de elevação de lamas primárias) e as estruturas existentes na ETAR do Barreiro/Moita têm capacidade para dar resposta ao incremento de produção de lamas.

Para o cálculo das lamas em excesso foi utilizado o mesmo método descrito na Memória Descritiva e Justificativa da ETAR do Barreiro/Moita. Isto é, a estimativa de produção de lamas em excesso é feita pela razão 0,85 kg MS/kg CBO_5 removido. É de referir que, tal como para a estimativa da produção de lamas primárias, para estimar o caudal de lamas em excesso considerou-se a concentração de lamas em excesso obtida no cenário referente ao ano 2021. Assim, na Tabela 5.14 estão apresentadas as estimativas referentes à produção de lamas em excesso em relação ao ano de referência.

Tabela 5.14 - Eficiências de remoção de CBO_5 no TP, carga de CBO_5 removida no tratamento secundário, produção de lamas em excesso e caudal de lamas em excesso

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Eficiências de remoção de CBO_5 no TP (%)	38	44	45	50
Carga de CBO_5 removida no RB (kg/dia)	5659	5053	5621	5408
Produção de Lamas em excesso (kg MS/dia)	4810	4295	4788	4616
Q de Lamas em excesso (m^3/dia)	657	586	654	631

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que nos cenários 2 e 3 apesar de haver melhores eficiências de remoção de CBO_5 no TPA, a recirculação de lamas causa uma maior afluência desta carga poluente ao RB, existindo assim uma manutenção ou ligeira diminuição de carga afluente ao tratamento biológico em comparação com o cenário relativo ao ano 2021. É de referir ainda que no presente estudo foi considerado, nas lamas em excesso, um rácio de 0,3 kg de CBO_5 por kg de MS.

Já no cenário 1 existe uma diminuição de carga afluente ao RB. Esta redução é justificada pelo facto de haver um aumento da remoção de carga de CBO_5 no tratamento primário diminuindo assim a afluência de carga ao tratamento biológico e consequentemente a diminuição da produção de lamas em excesso. É de referir que no ano de referência, a média mensal anual da concentração das lamas em excesso foi de 7 kg/m^3, tendo sido este valor utilizado no presente estudo para calcular o caudal de lamas em excesso.

Tal como para as lamas primárias, a ETAR do Barreiro/Moita encontra-se preparada a nível estrutural e de equipamentos para as variações na produção de lamas.

Nos cenários 2 e 3 as lamas em excesso produzidas são removidas parcial ou totalmente através da recirculação ao TPA. No cenário 2 apenas metade das lamas produzidas são contabilizadas na produção global de lamas da ETAR enquanto no cenário 3 a totalidade das lamas em excesso não entram no balanço global de lamas produzidas.

5.4.4 Impactos na Produção de Biogás

Através dos caudais de lamas primárias e de lamas em excesso calculados no subcapítulo anterior é possível estimar a quantidade de lamas mistas afluentes à digestão anaeróbia. Contudo, é necessário compreender qual o impacto que as etapas de espessamento gravítico e mecânico terão nas lamas primárias e nas lamas em excesso, respetivamente. Na Memória Descritiva e Justificada da ETAR do Barreiro/Moita é considerado que a taxa de captura dos espessadores gravítico é de 90%, enquanto a eficiência de captura de sólidos dos espessadores mecânicos é de 95%. É considerada também uma concentração média de lamas espessadas de 70 kg/m^3 caso sejam provenientes dos espessadores gravíticos e de 40 kg/m^3 quando estas provêm dos espessadores mecânicos. Sendo que as escorrências das etapas de espessamento são enviadas para a cabeça da estação, este valor foi considerado no balanço global. Assim na Tabela 5.15 são apresentadas as estimativas das quantidades de lamas espessadas.

Tabela 5.15 - Estimativas das quantidades de lamas espessadas

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga de lamas primárias espessadas (Kg MS/d)	4788	6414	8302	10490
Caudal de lamas primárias espessadas (m^3/d)	68	92	119	150
Carga de lamas em excesso espessadas (Kg MS/d)	4570	4080	2274	-
Caudal de lamas em excesso espessadas (m^3/d)	114	102	57	-

É de referir que no Cenário 2 apenas 50% das lamas em excesso afluem ao espessamento mecânico e para o Cenário 3, sendo que a recirculação das lamas em excesso ao TPA é de 100%, não há afluência de lamas ao espessador mecânico. Os espessadores (gravítico e mecânicos) existentes na ETAR do Barreiro/Moita suportam o aumento de caudal a espessar.

As etapas de espessamento gravítico e mecânico produzem sobrenadantes e escorrências, respetivamente. Estas águas resultantes das etapas de espessamento são drenadas até à cabeça da estação tendo sido considerado este acréscimo de caudal e de carga ao longo do cálculo elaborado

no presente estudo. Na Tabela 5.16 é possível observar o somatório das cargas e dos caudais das águas resultantes das diferentes etapas de espessamento e que são elevados à cabeça da estação, sendo assim considerados com um acréscimo de carga poluente a ser tratada. Considerou-se um rácio de 0,5 kg de CBO_5 por cada kg de MS.

Tabela 5.16 - Cargas e Caudais das águas resultantes das diferentes etapas de espessamento

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga das águas resultantes das etapas de espessamentos (Kg MS/d)	772	927	1042	1166
Caudal das águas resultantes das etapas de espessamento (m3/d)	671	657	493	281

Finalmente, é estimada a quantidade de lamas mistas espessadas afluente ao digestor para os cenários em estudos, sendo estes valores apresentados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Estimativa da quantidade de lamas mistas espessadas

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga de lamas mistas espessadas (Kg MLSS/d)	9357	10494	10576	10490
Caudal de lamas mistas espessadas (m^3/d)	183	194	175	150

Ao analisar os valores obtidos é possível concluir que nos cenários em estudo existe um acréscimo de produção de lamas mistas espessadas em comparação com o cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita. O cenário 2 é o que apresenta maior carga e caudal, maioritariamente em consequência do aumento de afluência de lamas primárias ao espessamento. O cenário 3 é o que apresenta maior concentração de lamas mistas espessadas já que a sua totalidade provém do espessamento gravítico que produz lamas espessadas com concentração superior às lamas produzidas no espessamento mecânico. O cenário 2 apresenta maior concertação de lamas espessadas em relação ao cenário 1 sendo que a maior percentagem de lamas mistas no cenário 2 provém do espessamento gravítico já que metade das lamas em excesso são recirculadas ao TPA e não afluem à etapa de espessamento.

Neste sentido, todos os cenários em estudo apresentam concentrações de lamas mistas espessadas superiores em comparação com o cenário de referência já que, em todos eles, existe uma maior percentagem de produção de lamas primárias em relação à produção global de lamas devido ao aumento de eficiência de remoção no tratamento primário. Sendo que o espessador gravito de lamas primárias produz lamas espessadas mais concentradas, consequentemente os cenários em estudo

terão uma concentração de lamas mistas espessadas superiores o que pode causar uma melhoria processual no processo de digestão anaeróbia e consequentemente na produção de biogás.

Assim, através dos valores obtidos é possível estimar o volume de biogás produzido na estação para os diferentes cenários em estudo. Para estimar a produção de biogás foram ainda consideradas as seguintes premissas, expressas na Tabela 5.18, obtidas através dos dados base referentes ao ano de exploração 2021.

Tabela 5.18 - Critérios utilizados na estimativa de produção de biogás

Temperatura de digestão (ºC)	**Razão SSV/SST à entrada do digestor**	**Redução de carga de MLVSS no digestor** (%)	**Produção Específica** (m^3/kg SSV destruído)
31	0,82	39	1,28

Para o cálculo da produção de biogás considerou-se a produção específica de biogás por sólidos voláteis destruídos obtida ao longo do ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita presente na Tabela 5.18. Tipicamente, o valor de produção de biogás varia entre 0,75 a 1,12 m^3/kg de sólidos voláteis destruído (Metcalf & Eddy, 2003).

Através dos critérios considerados e dos valores obtidos referentes às lamas mistas espessadas é possível estimar o volume de biogás produzido para os diferentes cenários em estudo, estando estes valores sumariados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Estimativa de produção de biogás para os diferentes cenários em estudo

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Carga de lamas mistas (Kg MLVSS /d)	7673	8605	8672	8601
MLVSS destruído no digestor (Kg MLVSS/d)	2996	3359	3386	3358
Produção de biogás (m^3/dia)	3829	4294	4328	4292

Ao analisar os resultados obtidos é possível confirmar que o cenário 2 apresenta maior produção de biogás. Sendo que, teoricamente, a produção de biogás aumenta quando existe maior produção de lamas, seria de esperar que o cenário 2 apresentasse uma maior produção de biogás. O cenário 1 e 3 também apresentam um acréscimo de produção de biogás em relação ao cenário exploratório referente ao ano de 2021. Estes valores seguem em conformidade com os valores anteriormente obtidos, sendo que quanto maior for a carga de MLSS afluente ao digestor, maior será a produção de biogás. É de referir que a adição de reagentes no tratamento primário tem impactos qualitativos nas lamas primárias, podendo assim revelar-se não benéfico para a digestão de lamas e consequentemente na produção de biogás.

5.5 Análise Custo-Benefício dos cenários em estudo

Para compreender a viabilidade dos cenários em estudo, é necessário entender qual o impacto que a exploração destes teria a nível económico bem como na redução da pegada de carbono. É feito, deste modo, um balanço de custos relativos à implementação dos cenários em estudo.

5.5.1 Consumo de reagentes

Assim, inicialmente é estimada a quantidade de reagentes que seria necessário utilizar, em acréscimo aos previamente utilizados no cenário exploratório referente ao ano de 2021 na ETAR do Barreiro/Moita. Sendo que no cenário exploratório de referência, a decantação primária praticada não recorre à utilização de reagentes, considerou-se que não existiria consumo de reagentes nesta etapa em comparação com os cenários em estudo. Contudo, no cenário de referência bem como nos cenários 1 e 2 existe consumo de polímero no espessamento mecânico de lamas em excesso. Para o cenário 3, sendo que a totalidade das lamas em excesso são recirculadas, não existe afluência de lamas ao espessamento e consequentemente não existe consumo de polímero nesta etapa. Obtendo as quantidades de reagentes a utilizar, é possível estimar os custos associados. Por último, sendo que a utilização de um TPA tem impacto na produção global de lamas, considerou-se igualmente os custos associados ao doseamento de polímero na desidratação. Considerou-se uma redução de sólidos nas lamas mistas após a digestão de 60%. Na Tabela 5.20 é possível observar os reagentes considerados no presente estudo, bem como os custos a estes associados. Os valores apresentados são representativos.

Tabela 5.20 - Reagentes utilizados nos cenários de estudo e os custos associados

Cloreto Férrico 40% (€/kg)	**Ambifloc 21F (**€/L)	**Polímero utilizado no espessamento e desidratação** (€/L)
0,2	2	3

Na Tabela 5.21 são apresentados os consumos associados a cada reagente, bem como os custos mensais correspondentes. É de referir que a dosagem média de polímero no espessamento mecânico é de 4 kg por tonelada de matéria afluente ao espessamento mecânico e na desidratação a dosagem média é de 9 kg por tonelada de matéria presente nas lamas digeridas.

Tabela 5.21 - Custos referentes ao consumo mensal de reagentes para os diferentes cenários em estudo

		2021	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Ambifloc 21F	**Consumo mensal comercial** (kg/mês)	-	1501	1521	1539
	Custo mensal (€/mês)	-	3001	3041	3078
Cloreto Férrico	**Consumo mensal comercial** (kg/mês)	-	30012	30414	30776
	Custo mensal, €/mês	-	6002	6083	6155
Polímero para o espessamento mecânico	**Consumo mensal comercial** (kg/mês)	567	506	282	-
	Custo mensal (€/mês)	1700	1518	846	-
Polímero para a desidratação	**Consumo mensal comercial (**kg/mês)	2611	2928	2951	2927
	Custo mensal (€/mês)	7832	8784	8852	8780
Custo total (€/mês)		**9532**	**19305**	**18822**	**18012**

Ao analisar a Tabela 5.20 é possível verificar que, para os reagentes usados no TPA (Ambifloc 21F e Cloreto Férrico), os consumos e os custos são bastante idênticos. Isto deve-se ao facto de, em todos os cenários estudados, terem sido utilizadas as mesmas dosagens de coagulante e floculante. As diferenças registadas entre os cenários em estudo são justificadas pelo facto de nos cenários 2 e 3 ter sido considerada uma recirculação de lamas em excesso. Deste modo, o caudal total afluente ao TPA sofre um ligeiro aumento afetando assim o consumo de reagente. Relativamente ao polímero consumido no espessamento mecânico, no cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita existe maior produção de lamas em excesso, consequentemente também existe maior afluência de lamas ao espessamento mecânico e maior consumo de polímero. No cenário 2 e 3, sendo que existe recirculação de lamas em excesso ao TPA, a afluência destas ao espessamento mecânico é menor ou nula, tal como o consumo de polímero.

É de referir que no cenário referente ao ano 2021 também existe doseamento de 40 ppm de cloreto férrico à cabeça da estação. Devido à ocorrência de intrusão de água salgada na rede de drenagem da ETAR do Barreiro/Moita, é doseado cloreto férrico a fim de mitigar o impacto da elevada afluência de sulfatos nos processos e nas tubagens. Nos cenários em estudo considerou-se igualmente o doseamento adicional de cloreto férrico à cabeça da estação. Assim, estes custos não entram no balanço já que existem em todos os cenários.

O consumo de polímero utilizado na desidratação também é bastante semelhante para os diferentes cenários em estudo já que todos apresentam produção de lamas mistas espessadas idênticas com exceção do cenário de referência.

Assim, os cenários em estudo refletem despesas relativas ao doseamento de reagentes em comparação com o cenário de referência. O cenário 1 é o que apresenta maior custo já que possui doseamento no TPA bem como no espessamento mecânico. Os cenários 2 e 3 apresentam redução ou inexistência de consumo de polímero no espessamento mecânico.

5.5.2 Necessidades de Oxigénio no Tratamento Biológico

Um dos impactos do TPA é a menor afluência de carga poluente ao tratamento biológico. Consequentemente existem menores necessidades de arejamento refletindo-se em menores custos de exploração. Assim, no capítulo referente aos impactos no tratamento biológico foram calculadas as necessidades de oxigénio associadas a cada cenário. Deste modo, é possível estimar a potência de arejamento necessária. O arejamento na ETAR do Barreiro/Moita é feito através de difusores de ar de bolha fina do tipo membrana. Com o avanço tecnológico, estes tipos de difusores apresentam cada vez maiores eficiências de transferência de oxigénio. Contudo, no presente estudo académico considerou-se uma taxa de transferência de oxigénio de 2,5 kg O_2/kW no sentido de se obter uma comparação entre os custos de exploração relativos ao arejamento em cada cenário estudado. É de salientar ainda que o custo relativo ao kWh praticado no caso de estudo é de cerca de 0,15 €. Assim na Tabela 5.22 é possível observar as estimativas das potências de arejamento bem como os custos associados.

Tabela 5.22 - Potência de arejamento e custos associados para os diferentes cenários

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
SOTR (kg O2 /h)	453	428	452	444
Potência de Arejamento (kWh)	181	171	181	177
Custo (€/dia)	653	616	651	639
Custo (€/mês)	20228	19106	20179	19803

Ao analisar os dados obtidos é possível constatar que o cenário 1 apresenta a maior redução de custos associados ao arejamento no RB. Neste cenário existe um ganho de cerca de 1100 €/mês, representando uma redução de 6% dos custos em comparação com os custos do arejamento registado no tratamento biológico na ETAR do Barreiro/Moita ao longo de 2021. Esta redução reflete a diminuição de carga de CBO_5 afluente ao tratamento biológico, em consequência do aumento de eficiência de remoção no TPA. Apesar de no cenário 2 e 3 também existir aumento de remoção, a recirculação de lamas em excesso ao TPA reintroduz carga poluente no sistema acabando por ter um impacto inferior relativo à potência necessária no arejamento.

5.5.3 Ganhos Energéticos

Para compreender a viabilidade económica dos cenários em estudo, é igualmente necessário considerar o potencial energético associado a cada um. Assim, no capítulo referente aos impactos do

TPA na produção de biogás, foi estimada a produção de biogás em relação à carga afluente aos digestores.

Deste modo, é possível calcular a quantidade de energia recuperada através do sistema de cogeração. Para se obter este valor, utilizou-se o mesmo método utilizado na Memória Descritiva e Justificativa referente à ETAR do Barreiro/Moita. Assim consideraram-se os seguintes critérios presentes na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 - Critérios utilizados na estimativa da produção de energia através do grupo de cogeração

Capacidade Calorífica do biogás (kWh/m^3 biogás)	**Regime de funcionamento da cogeração** (h/d)	**Eficiência na produção de energia** (%)	**Eficiência do alternador** (%)
5,96	24	33,95	90

Através das premissas observadas anteriormente, foi possível calcular a recuperação diária de energia referente a cada cenário. Os valores estão presentes na Tabela 5.24.

Tabela 5.24 - Produção de biogás e a recuperação diária de energia correspondente

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Produção de biogás (m3/dia)	3829	4294	4328	4292
Produção de energia (kWh/d)	6973	7820	7882	7816

Ao analisar os valores obtidos, é possível verificar que, do cenário de referência para os restantes cenários, existe um aumento de produção de energia associada ao biogás. O cenário 2 apresenta o maior incremento de produção de energia, sendo que neste existe maior afluência de lamas espessadas à etapa de digestão e consequentemente maior produção de biogás. Em comparação com o cenário de referência, no cenário 2 existe um aumento de cerca de 13% de produção de energia.

Sendo que a energia produzida via biogás é reaproveitada na estação, existe uma redução de energia consumida proveniente da rede de distribuição e consequentemente, redução de custos monetários. Na Tabela 5.25 é possível observar os ganhos monetários multiplicando a energia produzida injetada na rede da estação, pelo custo que esta teria caso fosse comprada à empresa fornecedora de eletricidade à ETAR.

Tabela 5.25 - Energia produzida via biogás e poupança monetária associada

	2021	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Recuperação diária de energia (kWh/d)	6973	7820	7882	7816
Poupança associada (€/dia)	1046	1173	1182	1172
Poupança associada (€/mês)	32424	36363	36650	36345

Ao analisar a Tabela 5.24 é possível confirmar a continuidade do estudo. O cenário 2, sendo o que apresenta maior produção de biogás, apresenta também uma maior recuperação de energia e consequentemente um maior ganho monetário. Todos os cenários em estudo apresentam ganhos idênticos relativos à produção de biogás, visto que todos possuem uma produção de lamas espessadas idêntica. Contudo, as lamas primárias espessadas apresentam melhores propriedades para produção de biogás. Neste sentido, seria de esperar que na aplicação dos cenários em estudo o cenário 3 apresentasse melhores resultados numa situação real, devido a totalidade das lamas espessadas terem origem nas lamas primárias.

No cenário 2 e 3 a afluência de lamas em excesso aos espessadores dinâmicos é diferente dos restantes cenários. No cenário 2 apenas aflui 50% das lamas em excesso aos espessadores dinâmicos e no cenário 3 não existe afluência de lamas aos espessadores dinâmicos. Neste sentido, é necessário compreender qual o impacto que estes dois cenários teriam na redução de consumos energéticos relativos ao espessamento dinâmico. É de referir que a ETAR do Barreiro/Moita possui 2 espessadores dinâmicos que trabalham 20 horas por dia, 7 dias por semana. Cada espessador está equipado com uma bomba de lavagem. Considerou-se que a potência associada a um espessador e à respetiva bomba é de 3 kW. Sendo que no cenário 2 apenas aflui 50% das lamas em excesso aos espessadores considerou-se que estes funcionariam apenas metade do tempo previsto. Para o cenário referente a 2021 e para o cenário 1 não existe um menor consumo de energia referente ao espessamento de lamas em excesso e consequentemente, não existe uma poupança monetária associada.

Na Tabela 5.26 encontra-se resumida a redução de consumos energéticos, bem como a redução de custos associada ao espessamento de lamas em excesso.

Tabela 5.26 - Redução de custos e consumos associados ao espessamento das lamas em excesso para os cenários 2 e 3

	Cenário 2	Cenário 3
Poupança diária de energia (kWh/d)	60	120
Poupança associada (€/dia)	9	18
Poupança associada (€/mês)	279	558

Ao analisar os valores acima obtidos, é possível constatar que os ganhos relativos à redução de horas de funcionamento ou à inexistência de espessamento de lamas em excesso são pouco significativos em comparação com os resultados obtidos ao longo da análise de custo-benefício. Contudo, representam uma redução de consumo de energia, contribuindo assim para a neutralidade energética da ETAR do Barreiro/Moita. No cenário de referência e no cenário 1 o espessamento gravítico das lamas primárias e o espessamento mecânico das lamas em excesso trabalham 20 horas por dia 7 dias por semana. Deste modo, no cenário 1 não existem ganhos referentes ao espessamento de lamas já que esta etapa ocorre de forma normal tal como no cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita.

No presente estudo não se considerou o impacto energético e monetário da elevação das lamas em excesso ao TPA nos cenários 2 e 3. Todavia, no cenário 1 e no cenário de referência também existe a elevação de lamas em excesso à etapa de espessamento. Assim, não foi considerada esta premissa na análise e comparação dos cenários.

É ainda necessário considerar a energia consumida relativamente à agitação durante a coagulação/floculação existente no TPA. Considerou-se que a potência associada à agitação na coagulação e na floculação é de 2 kW sendo esta agitação permanente. No cenário de referência este consumo não se aplica. Na Tabela 5.27 é possível observar os consumos e os custos energéticos associados à agitação para os três cenários em estudo.

Tabela 5.27 - Consumo de energia e gastos monetários associados à Agitação na coagulação/floculação

	Cenários em estudo
Gasto diário de energia (kWh/d)	48
Gasto monetário associado (€/dia)	7,2
Gasto monetário associada (€/mês)	223

Tal como sucedido na análise dos impactos associados à desativação do espessamento mecânico, os impactos da agitação na coagulação/floculação são pouco significativos em relação ao resto dos resultados obtidos.

Por último, a utilização de um TPA reflete-se numa maior produção de lamas em comparação com um tratamento primário convencional. Assim, é necessário contabilizar igualmente os custos associados ao encaminhamento das lamas a destino final após todas a etapas de tratamento. Considerou-se que a redução de sólidos na digestão anaeróbia é de 60%. Na desidratação considerou-se 95% de captura de sólidos e uma sicidade de 22%. O custo de encaminhamento das lamas desidratadas a destino final praticado é de 30 € por tonelada de lama.

É de referir que tal como no espessamento, as escorrências produzidas na desidratação de lamas são encaminhadas para a cabeça da estação

Na Tabela 5.28 é possível observar a produção de lamas desidratadas, bem como o custo associado ao seu encaminhamento para destino final.

Tabela 5.28 - Produção de lamas desidratadas e custos associados ao seu encaminhamento para destino final

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Produção de lamas desidratadas (kg MS/d)	5334	5982	6028	5979
Caudal de lamas desidratadas (m^3/d)	24	27	27	27
Gasto monetário associado (€/dia)	160	179	181	179
Gasto monetário associado (€/mês)	4960	5563	5606	5561

Na Tabela 5.29 estão considerados os valores obtidos referentes às escorrências produzidas na etapa de desidratação. No presente estudo académico considerou-se um rácio de 0,5 kg de CBO_5 por cada kg de MS.

Tabela 5.29 - Produção e caudal das escorrências da desidratação

	2021	**Cenário 1**	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Produção de escorrências (kg MS/d)	281	315	317	315
Caudal de escorrências (m^3/d)	158	166	148	122

Para concluir, é necessário fazer o balanço económico global dos diferentes cenários e compará-los com o cenário referência. Assim, na Tabela 5.30 é possível observar os custos e os ganhos associados a cada cenário, bem como o balanço global. É de referir que os valores obtidos são em comparação com os valores do ano de referência.

Tabela 5.30 - Despesas/ganhos associados aos cenários em estudo em comparação com o cenário referência

	Cenário 1	**Cenário 2**	**Cenário 3**
Reagentes (€/mês)	-9773	-9290	-8480
Agitação no TPA (€/mês)	-223	-223	-223
Arejamento no RB (€/mês)	1122	49	425
Produção de energia via biogás (€/mês)	3939	4226	3921
Espessamento (€/mês)	-	279	558
Encaminhamento das lamas para destino final (€/mês)	-603	-646	-601
Balanço global (€/mês)	-5538	-5605	-4400

Através dos resultados obtidos conclui-se que os cenários em estudo apresentam despesas em comparação com o cenário referente ao ano 2021 na ETAR de Barreiro/Moita. Em caso de exploração dos cenários em estudo, em todos eles existiriam custos económicos superiores aos existentes na ETAR do Barreiro/Moita ao longo de 2021. No cenário 3 existe uma despesa inferior aos restantes cenários em estudo. Este destaca-se dos restantes devido, principalmente, à desativação da etapa de espessamento mecânico resultante da recirculação da totalidade das lamas em excesso. Consequentemente, não existe doseamento de reagente nem consumo de energia relativa à etapa de espessamento mecânico no cenário 3.

Para todos os cenários existem ganhos associados à redução de custos do arejamento e maior produção de biogás. Nos cenários 2 e 3 também existem ganhos relativos à utilização parcial ou desativação do espessamento mecânico, respetivamente. Já o doseamento de reagentes, a agitação na etapa da coagulação/floculação e o encaminhamento das lamas para destino final representam mais custos em comparação com o cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita

A utilização de um TPA, em comparação com um tratamento primário convencional, apresenta benefícios no tratamento primário e nas etapas a jusante, contudo apresenta despesas de exploração. Para entender quais as despesas reais e perceber o impacto da adoção de cada um dos cenários em estudo, seria necessário pôr em prática cada cenário em situação real.

É de referir que o preço da eletricidade e dos reagentes são voláteis, podendo assim criar oscilações nos ganhos e nas despesas obtidas no presente estudo.

5.6 Consumo energético

Um dos objetivos do presente estudo passa também por entender quais os impactos que os cenários estudados terão na aproximação ao objetivo da neutralidade energética. Ao longo do estudo, constatou-se que um dos maiores obstáculos relativos à operação de uma ETAR recai sobre o consumo energético e consequentemente, nas emissões de carbono a este associado e aos custos de operação.

Assim, na Tabela 5.31, foram sumariados os valores obtidos alusivos à redução de consumo energético nos cenários em estudo em relação ao cenário referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita.

Tabela 5.31 - Consumos de Energia referentes aos cenários em estudos em comparação com o cenário de referência

		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Energia consumida na agitação (kWh/d)		48	48	48
Energia consumida no arejamento (kWh/d)		-241	-10	-91
Energia consumida proveniente da rede (kWh/d)		-847	-909	-843
Energia consumida no espessamento de lamas em excesso (kWh/d)		0	-60	-120
Balanço Global dos consumos de energia	**Diário** (kWh/d)	-1040	-979	-1054
	Mensal (kWh/mês)	-32246	-30350	-32682

Ao analisar os resultados obtidos, é possível observar que, em comparação com o cenário referência, apenas existe um acréscimo de consumos de energia relativos à agitação nas etapas de coagulação e floculação em todos os cenários em estudo. Para todas as outras premissas consideradas, o consumo de energia nos cenários em estudo é inferior em relação ao cenário de referência. O aumento de produção de energia via biogás e a consequente redução das necessidades de consumo de energia proveniente da rede representam o maior impacto no balanço global dos consumos energéticos.

De uma forma global, em todos os cenários existe uma redução de consumo energético na estação, havendo uma aproximação ao objetivo da neutralidade energética. O cenário 3 é o mais vantajoso energeticamente. Apresenta uma redução de consumos energéticos de cerca de 32500 kWh por mês em comparação com o consumo energético proveniente da rede de distribuição na ETAR. A maior produção de lamas e consequente maior produção de biogás leva a um menor consumo de energia não produzida na estação, criando um grande impacto no balanço global.

Sendo que a média mensal relativa ao consumo energético na ETAR do Barreiro/Moita ao longo do ano 2021 é cerca de 278 000 kWh, existe, no cenário 3, uma redução de consumo de energia proveniente da rede de aproximadamente 12%.

Como é possível ver na Tabela 5.31, o cenário 1 apresenta uma redução de consumos energéticos muito próxima do cenário 3. Isto indica que, a utilização apenas de um TPA, sem recirculação de lamas em excesso, já revela ganhos energéticos bastante significativos.

Com o objetivo de materializar a redução de emissões de CO_2, considerou-se que por cada MWh consumido seriam produzidas 0,264 toneladas de CO_2 equivalente (APA, 2022). Assim, em caso de aplicação do cenário 3, existiria uma redução teórica de cerca de 9 toneladas de CO_2 equivalente emitidas mensalmente.

6. Conclusões

A constante evolução cria a necessidade de descobrir novos métodos, realizar novos estudos e arriscar novos caminhos. No ramo do tratamento de águas, nomeadamente águas residuais, a evolução passa por tornar os sistemas de tratamento mais eficientes e autossustentáveis contribuindo assim para um futuro mais promissor. Assim sendo, o principal objetivo do presente estudo foi entender qual seria o impacto da utilização de um tratamento primário avançado na ETAR do Barreiro/Moita, procurando compreender quais os impactos processuais, económicos e energéticos da utilização deste método de tratamento.

O tratamento primário avançado consiste num processo de decantação de matérias suspensas com a auxílio de reagentes com o objetivo de aumentar as eficiências de remoção de cargas poluentes da água a tratar. Estes reagentes são adicionados inicialmente nas etapas de coagulação e floculação seguindo-se uma decantação. No presente estudo pretendeu-se igualmente entender se o doseamento de lamas em excesso no processo de coagulação/floculação teria impactos positivos no TPA e na continuidade do estudo. Considerou-se uma recirculação parcial ou total das lamas em excesso com o objetivo de entender se seria possível aproveitar o coagulante presente nas mesmas e se estas trariam vantagens no TPA e nos processos a jusante.

Deste modo, inicialmente, foram testadas diversas conjugações e dosagens de floculantes considerando a dosagem de coagulante, neste caso cloreto férrico, um parâmetro fixo. Através de ensaios *Jar-test* foi possível simular um tratamento primário avançado a partir do qual se procurou entender qual a conjugação coagulante/floculante que apresentaria melhores resultados. Neste sentido, após 3 ensaios, a utilização da conjugação do polímero Ambifloc 21F com uma dosagem de 2 ppm como floculante e 40 ppm de cloreto férrico como coagulante revelou melhores eficiências de remoção para os diferentes parâmetros em análise, apresentando uma eficiência de remoção para SST e CQO de 79% e 39%, respetivamente. Em comparação com o tratamento primário convencional praticado na ETAR do Barreiro/Moita, que apresenta eficiências de remoção de SST e CQO de 60% e 34%, foi possível concluir que a utilização de um TPA, simulada nos ensaios *Jar-test*, revelou benefícios no tratamento primário. Relativamente aos ensaios realizados com a recirculação de lamas em excesso provenientes da ETAR do Barreiro/Moita, os resultados obtidos nos ensaios *Jar-Test* foram igualmente positivos. Os valores de eficiências de remoção de SST e CQO foram de 80% e 40%, respetivamente, no caso do cenário de recirculação de 50 % de lamas em excesso. No cenário de recirculação da totalidade das lamas em excesso obtiveram-se eficiências de remoção de SST e CQO de 84% e 45%, respetivamente. Conclui-se assim que, existem melhorias no TP associadas à

utilização de lamas em excesso como coagulante num TPA, confirmando assim o auxílio na remoção de carga poluente. Aquando do aumento das eficiências de remoção, verificou-se igualmente um aumento da produção de lamas primárias.

Ao entender o impacto da utilização do TPA na ETAR do Barreiro/Moita ao nível do tratamento primário, foi necessário prolongar o estudo às restantes operações unitárias a jusante com o objetivo de entender quais os impactos processuais, económicos e ambientas da aplicação do TPA. Neste sentido foram definidos 3 cenários exploratórios diferentes, com o objetivo de os comparar entre si e com o cenário de referência referente ao ano 2021 na ETAR do Barreiro/Moita.

No cenário 1 foi simulada a utilização da conjugação de coagulante e floculante, referida anteriormente, que apresentou melhores resultados nos ensaios *Jar-Test*. Nos cenários 2 e 3 foi utilizada a mesma conjugação de reagentes que no cenário 1 como acréscimo da recirculação de 50% e 100% de lamas em excesso ao TPA, respetivamente. Em comparação com o cenário referente ao ano 2021, os resultados obtidos revelaram que a utilização de um TPA assim como a recirculação de lamas em excesso têm impactos positivos nas etapas a jusante na ETAR do Barreiro/Moita.

Verificou-se uma redução de necessidades de oxigénio no arejamento dos reatores biológicos, sendo que em paralelo foram respeitados os rácios de C:N:P praticados na ETAR previamente. Houve um incremento na produção global de lamas, levando assim a um aumento da produção de biogás na estação. Ambos os impactos referidos anteriormente refletem-se num menor consumo energético proveniente da rede de distribuição de energia. A nível energético, o cenário que se revelou mais vantajoso foi o cenário 3, estimando-se uma redução de cerca de 12% do consumo de energia da proveniente da rede. O cenário 1 apresentou uma redução de consumo de energia muito próxima do cenário 3, revelando que a utilização de um TPA, por si só, já contribui bastante para a neutralidade energética.

A nível económico, a utilização do TPA apresentou despesas monetários teóricos em todos os cenários. Com menor relevância no cenário 3 onde houve a menor despesa teórica. O custo associado ao doseamento de reagentes no TPA foi a maior despesa obtida em todos os cenários. Estima-se assim que os ganhos obtidos não suprimam este custo.

Por fim, conclui-se que o cenário mais viável e benéfico é o cenário 3. A utilização de um TPA na ETAR do Barreiro/Moita, em paralelo com uma recirculação de lamas em excesso à etapa de coagulação/floculação, trariam vantagens energéticas e ambientais, sem impactos processuais significativos na estação.

7. Perspetiva de Trabalhos Futuros

O estudo realizado demonstrou que a utilização de um TPA pode ser bastante benéfica a nível energético e a nível económico nas etapas a jusante do mesmo. Contudo, os reagentes utilizados revelaram-se bastante dispendiosos, em relação aos ganhos económicos obtidos nos diferentes processos estudados. Neste sentido, seria interessante testar outros tipos de reagentes, inclusive, reagentes obtidos a partir de produtos naturais e a partir de produtos reciclados, reduzindo assim a pegada ecológica e contribuindo para um processo tratamento mais sustentável e económico.

Sugere-se que em novos estudos, além dos ensaios a nível laboratorial, sejam feitos ensaios piloto testando assim a aplicabilidade prática do TPA na ETAR do Barreiro/Moita. Assim, seria possível quantificar e qualificar qual os impactos reais da aplicação dos cenários em estudo. Seria igualmente necessário entender quais os impactos que a adição de reagentes no DPA teria na qualidade das lamas e consequentemente na produção de biogás. Em caso de realização de novos ensaios *Jar-Test* no âmbito do presente estudo, seria importante avaliar a produção de lamas através da análise do sedimentado. Deste modo, seria possível entender qual os impactos qualitativos e quantitativos na produção de lamas.

Sugere-se igualmente que sejam testados mais métodos focados na neutralizada carbónica, sendo este um objetivo cada vez mais eminente a nível mundial. O aproveitamento fotovoltaico é um excelente exemplo. Sendo Portugal um dos países europeus com maior potencial de produção de energia fotovoltaica, seria oportuno entender qual o impacto que a adoção de um sistema de produção de energia fotovoltaica teria a nível de consumos energéticos gerais da ETAR. Na Figura 7.1 é possível observar o potencial de produção de energia fotovoltaica na Europa.

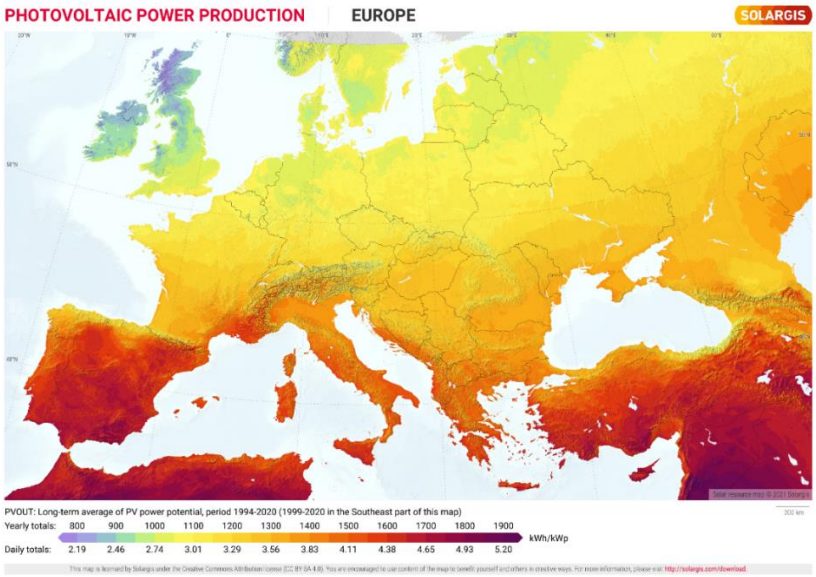


Figura 7.1 - Radiação horizontal anual na Europa (Solargis, 2021)

Na ETAR do Barreiro/Moita existe um elevado potencial de aproveitamento solar existindo diversas superfícies aptas a receberem painéis fotovoltaicos. A Figura 7.2 ilustra uma foto de satélite da ETAR do Barreiro/Moita com identificação de zonas consideradas disponíveis para a colocação de painéis fotovoltaicos, sem qualquer tipo de impacto no processo de tratamento de água residual.

Figura 7.2 - Foto de satélite da ETAR do Barreiro/Moita

A zona A representa uma área disponível de cerca de 1500 m^2 e encontra-se sobre o telhado do edifício da obra de entrada. Já a zona B representa uma área disponível de cerca de 9000 m^2 e encontra-se no espaço de terreno mais a Norte da ETAR. Caso se decidisse utilizar estas zonas para a instalação de painéis fotovoltaicos existiria um grande contributo para o objetivo de neutralidade carbónica da ETAR. É de considerar que a adoção de um sistema destes teria um grande investimento inicial que seria amortizado a médio/longo prazo.

Sugere-se igualmente que seja estudada a aplicação do TPA em caso de emergência. Isto é, analisar a possibilidade de utilizar o TPA caso o espessamento mecânico se encontre avariado ou até em caso de afluências indevidas à ETAR, oferecendo assim uma maior resiliência do sistema de tratamento de água residual para fazer face a emergências.

8. Referências Bibliográfica

Agência Portuguesa do Ambiente. (2022) Fator de Emissão da Eletricidade – Fator de emissão de gases com efeito de estufa da Eletricidade produzida em Portugal. p. 8

AdP Internacional – Águas de Portugal Internacional. (2016) Projetos em Portugal – ETAR do Barreiro/Moita. Disponível em: http://www.adpinternacional.com/pt//?id=61&img=87&bl=11 (Consultado a 29/07/2022)

Bachmann, N. (2015) Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants. IEA Bioenergy 20:4–5

Boncescu C, Robescu L.D. (2017). Experimental research on aeration equipment used in biological wastewater treatment. In: 17th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017

Bratby, J. (2016). Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment. 3rd Edition. IWA Publishing. London.

Cachucho, J. (2021) "Otimização da Etapa de Desidratação da Fábrica de Água de Alcântara Tese de Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa

Carlsson, B. (1998). An Introduction to sedimentation theory in wastewater treatment, Uppsala: Uppsala University.

Chae, K.J., Kang, J. (2013) Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources. Energy Convers Manage 75:664–672

Costa, C.F.A., (2013). Avaliação da capacidade adsorvente de sementes de Moringa oleifera no tratamento de águas residuais. Relatório para obtenção do grau de Licenciatura em Biotecnologia. Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária. Minho 1–58.

Cunha, J. (2017) "Contribuição para a melhoria do processo de espessamento de lamas primrias em ETAR Municipal", Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Daltin, D. (2011). Tensoativos: química, propriedade e aplicações.

Davis, C. C., & Edwards, M. (2014). Coagulation With Hydrolyzing Metal Salts : Mechanisms and Water Quality Impacts, 3389

Davis, M.L., (2010). Water and wastewater engineering: Design principles and practice Profession., Mc Graw Hill.

Dewil, R., Appels, L., Baeyens, J., Degre, J., (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. Progress in Energy and Combistion Science 34, 755–781.

Diário da República Eletrónico. Tratamento de águas residuais urbanas – Decreto-Lei n.º152/97. Disponível em: https://dre.pt/dre/legislacao-consolidada/decreto-lei/1997-75044039 (Consultado a 20/07/2022)

Diaz, S.D., Peña, L.V., Cabrera, E.G., Soto, M.M., Cabezas, L.M.V., Sánchez, L.R.B. (2012). Effect of previous coagulation in direct ultrafiltration of primary settled municipal wastewater. Desalination 304,41–48.

Drainage Service Department. The Government of Hong Kong Special Administrative Region. Stonecutters Island Sewage Treatment Works (2019) Chemically Enhanced Primary Treatment Facilities Disponível em: https://www.dsd.gov.hk/EN/HTML/20524.html (Consultado a 08/08/2023)

Duarte, E. (2011). Manual de apoio às aulas teóricas da Unidade Curricular de Tratamento de Águas, Efluentes e Resíduos. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia. Lisboa 1–171.

Duarte, E., Fragoso, R.A., (2013). Manual de apoio à Unidade Curricular de Tecnologias de Tratamento de Águas e Águas Residuais. Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia.

Efacec (2010) Memória Descritiva e Justificativa do Processo de Tratamento e Equipamento – ETAR do Barreiro/Moita

EPA – Waste Water Treatment Manuals – Primary, Secondary and Tertiary Treatment. (1997). ISBN 1 89996546 7.

Feo, G. De, Gisi, S. De, & Galasso, M. (2012). Chemically Assisted Primary Sedimentation : A Green Chemistry Option. In Green Technologies for Wastewater Treatment (pp. 1–18).

Ferrari Gualberto, F. (2009). Utilização De Sais De Ferro Como Coagulante, 146.

Figueiredo, A (2018). Afluência indevidas de água salgada em ETAR. Medidas de quantificação e de minimização. Caso de Estudo ETAR do Barreiro/Moita. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa.

Gu Y., Li Y., Li X., Luo P., Wang H., Wang X., Wu J., Li F.(2016) Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges. The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016

Halim, D. (2012). Energy Recovery in Wastewater Treatment. Report. City College of New York. Department of Civil Engineering 19.

Ravina, L. (1993) “Everything you want to know about Coagulation & Flocculation ....”, Zeta-Meter, Inc. 4ª Edição.

Lazarova V, Choo K-H, Cornel P. (2012) Water-energy interactions in water reuse: IWA Publishing.

Lin, S.D. & Lee, C.C. (2007). Water and Wastewater Calculations Manual 2nd Edition. C. C. Lee, ed., New York, USA: Mc Graw Hill.

Maktabifard, M., Zaborowska, E. & Makinia, J.(2018) Achieving energy neutrality in wastewater treatment plants through energy savings and enhancing renewable energy production. Rev Environ Sci Biotechnol 17, 655–689

Marecos do Monte, H., Barreiros, A., Santos, M., Albuquerque, A. (2016) Cursos Técnicos 5 – Tratamento de Águas Residuais: Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico, ERSAR, ISEL.

Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. Advances in Colloid and Interface Science, 159(2), 189–197. Meerburg FA, Boon N, Van Winckel T et al (2016) Live fast, die young: optimizing retention times in high-rate contact stabilization for maximal recovery of organics from wastewater. Environ Sci Technol 50:9781–9790

Menendez, M., Black, P.E. (2010). How we use energy at wastewater plants and how we can use less. NC AWWA-WEA 90th Annual Conference.

Metcalf and Eddy, (1991). Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse. 3º Edition. MacGraw-Hill, Inc.

Metcalf and Eddy. (2003) 1. Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. New York: International Edition: McGraw-Hill, 4ª Edição, 1818 pp., 1523 pp.

Moreira, C. (2014) ETAR, Revista de Ciência Elementar, Volume 2, Número 2, 146.

Moss L, Donovanm JF, Carr, S. et al. (2013) Enabling the future: advancing resource recovery from biosolids. Water environmental federation (WEF).

Mourato, F. (2015). Otimização do doseamento de reagentes na Decantação Primária. Tese de Mestrado em Engenharia Química e Bioquímica. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa.

Muttamara, S. (1996) Wastewater characteristics. Resources, Conservation and Recycling 16, 145–159.

Neupane, D. R., Riffat, R., Murthy, S. N., Peric, M. R., & Wilson, T. E. (2008). Influence of source characteristics, chemicals, and flocculation on chemically enhanced primary treatment. Water Environmental Research, 80(4), 331–338.

Nowak O, Keil S, Fimml C. (2011) Examples of energy self-sufficient municipal nutrient removal plants. Water Science and Technology; 64:1-6.

Ødegaard, H. (1998). Optimised particle separation in the primary step of wastewater treatment. Water Science and Technology, 37(10), 43–53

Ødegaard, H. (2000). Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes. Water and Science Technology. 42(12), 33-48

Olive, N. (2002). Design of a Chemically Enhanced Primary Treatment Plant for the City of Alfenas, Minas, Gerais, Brazil. Tese de Mestrado em Engenharia Civil e Engenharia do Ambiente. Massachusetts Institute of Technology.

Oliveira, S. (2014) Ensaio Exploratório de Otimização do Tratamento Primário da ETAR de Beirolas para Incrementar a Eficiência Energética. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agronomia – Universidade de Lisboa.

Othman, A., Hasan, H., Purwanti, I., Imron, M., Said, N., Ismail, N., Kurniawan, S., Abdullah, S. (2020) Challenges and Opportunities of Biocoagulant/Bioflocculant Application for Drinking Water and Wastewater Treatment and Its Potential for Sludge Recovery. International Journal of Environmental Research and Public Health 17(24).

Panepinto D, Fiore S, Zappone M, Genon G, Meucci L. (2016) Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment plant in Italy. Applied Energy.;161:404-11.Ramalho, R.S. (1983) Introduction to Wastewater Treatment Processes 2 a Edição., Academic Press, Inc.

Ribeiro, A.T.A. (2010) Aplicação da Moringa oleifera no tratamento de água para consumo humano. Dissertação para obtenção de Grau Mestre em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

Riffat, R. (2013). Fundamentals of watewater treatment and engineering. IWA.

Rojas J, Zhelev T. (2012) Energy efficiency optimisation of wastewater treatment: Study of ATAD. Computers & Chemical Engineering. 2012;38:52-63.

Shewa,W., Dagnew, M. (2020). Revisiting Chemically Enhanced Primary Treatment of Wastewater: A Review, Sustainability 12(15), 5928;

Solargis (2021) Solar resource maps of Europe – Disponível em: https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe, (consultado a 23/09/2023)

Teh, C., Budiman, P., Shak, K., Wu, T. (2016) Recent Advancement of Coagulation–Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment - Industrial & Engineering Chemistry 55 (16), 4363-4389.

Tyagi VK, Lo SL (2013) Sludge: a waste or renewable source for energy and resources recovery? Renew Sustain Energy Rev 25:708–728

Van Horne MP, Rohrbacher J, Pitt P (2013) Coming full circle: moving wastewater treatment plants toward energy neutrality. Florida Water Resour J.

Venkatesh G, Brattebø H. (2011) Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). Energy. 2011;36:792-800.

Viana, R. (2019). Valorização de Lamas de ETA com carvão ativado na operação de decantação primária assistida em ETAR. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa.

Water Environmental Federation (WEF). (2008). Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants – Manual of Practice No. 11. Vol. II: Liquid Processes. 6th Edition. McGraw Hill

Wett B, Buchauer K, Fimml C.(2007) Energy self-sufficiency as a feasible concept for wastewater treatment systems. IWA Leading Edge Technology Conference: Singa-pore: Asian Water; p. 21-4

Xu J, Li Y, Wang H et al (2017) Exploring the feasibility of energy self-sufficient wastewater treatment plants: a case study in eastern China. Energy Procedia 142:3055–306

Anexos

Anexo A - Cargas Afluentes à ETAR do Barreiro/Moita durante o ano 2021

Tabela A.1 - Cargas afluentes à ETAR do Barreiro/Moita durante o ano 2021

	Caudal (m3/mês)	**Carga orgânica afluente** (kg CBO_5 /mês)	**Carga de CQO afluente** (kg CQO/mês)	**Carga de sólidos afluente** (Kg SST/mês)	**Carga de azoto afluente** (kg N/mês)	**Carga de fósforo afluente** (kg P/mês)
Janeiro	752612	227665	455706	212236	66230	6648
Fevereiro	803886	217049	464244	212025	67526	5895
Março	833425	341704	623402	257112	75286	6167
Abril	855420	213855	401192	82762	71000	4748
Maio	784046	352821	565493	231882	58281	7004
Junho	731897	421939	773249	281963	69530	7734
Julho	721038	447044	772809	398590	60567	6652
Agosto	676154	380337	754250	341627	58375	6108
Setembro	685515	329047	600683	277291	61468	5461
Outubro	680153	264580	539021	246555	81618	7096
Novembro	701834	288629	558133	243887	75096	8656
Dezembro	777541	273694	501514	225020	91361	7387

Anexo B – Resultados das determinações analíticas realizadas nos Ensaios Laboratoriais para os diferentes parâmetros em estudo

Tabela B.1 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 1

	pH	**SST** (mg/L)	**CQO** (mg/L)	**P** (mg/L)	**NH_4** (mg/L)
Copo 1	7,72	136	501	10,7	115
Copo 2	7,75	110	510	10,7	99
Copo 3	7,76	74	481	9,8	100
Copo 4	7,76	69	491	10,5	104
Copo 5	7,79	73	486	10,4	109
Copo B	7,73	226	775	12,0	119

Tabela B.2 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 2

	pH	**SST** (mg/L)	**CQO** (mg/L)	**P** (mg/L)	**NH_4** (mg/L)
Copo 1	8,1	66	271	10	94
Copo 2	8,07	73	252	10	95
Copo 3	8,01	77	244	10	90
Copo 4	8,03	74	244	10	88
Copo 5	8,1	78	258	11	94
Copo 1A	8,1	85	255	11	83
Copo 2A	8,12	71	251	11	91
Copo 3A	8,05	68	248	11	86
Copo 4A	8,05	68	236	11	90
Copo BA	8,21	455	664	16	94

Tabela B.3 - Resultados das determinações analíticas no Ensaio 3

	pH	**SST** (mg/L)	**CQO** (mg/L)	**P** (mg/L)	**NH_4** (mg/L)
Copo B	7,65	451	900	9	94
Copo 1	7,29	93	535	7,5	90
Copo 2	7,46	95	550	6,8	85
Copo 3	7,41	95	558	6,1	81
Copo 1A	7,30	96	526	6,1	96
Copo 2A	7,47	98	537	6,0	97
Copo 3A	7,47	88	497	6,0	84
Copo 4A	7,35	96	511	5,7	79
Copo 5A	7,40	90	511	5,4	84
Copo 6A	7,54	86	547	5,2	87
Recirculação	-	14900	-	-	-

Anexo C – Medições das alturas de sedimentado no Ensaio 3 após 30 minutos de repouso

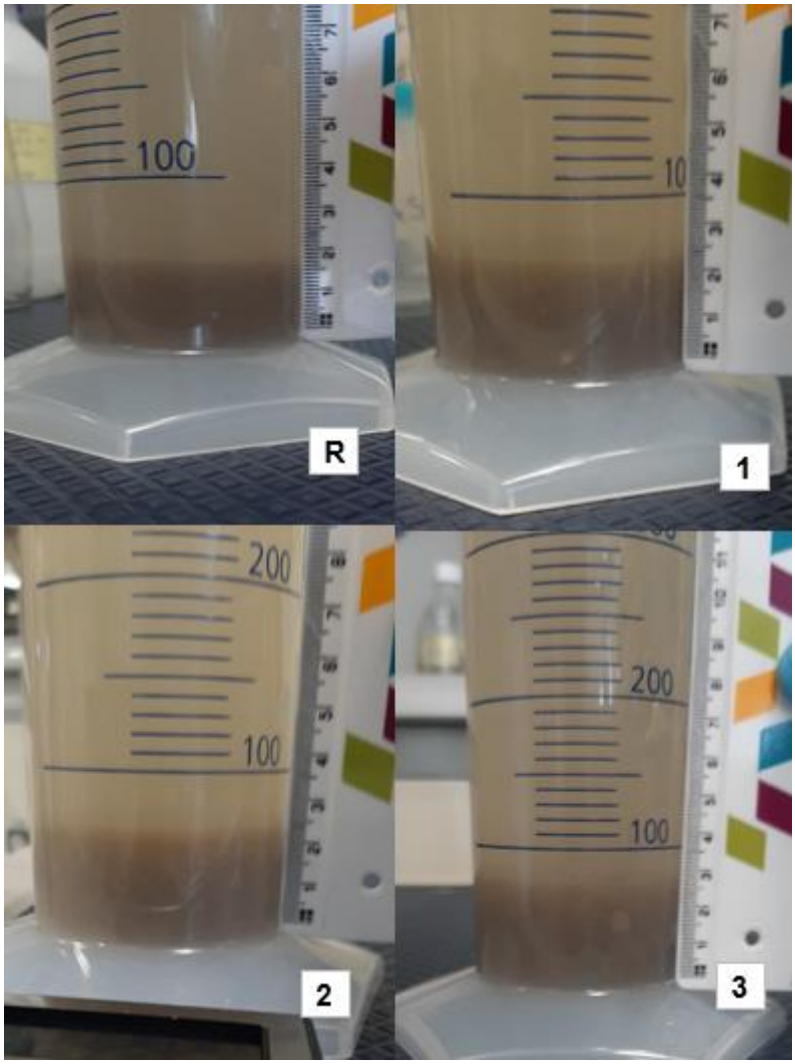


Figura C.1 - Medições das alturas de sedimentação no Ensaio 3 referentes à amostra branco (R), e as amostras referentes aos cenários 1, 2 e 3

Anexo D.1 – Procedimento da determinação de SST

1 Introdução

Designam-se por sólidos todos os materiais existentes na água, sob a forma solúvel ou em suspensão.

Princípio do método

Uma amostra homogeneizada é filtrada, por vácuo, através de um filtro de fibra de vidro. O resíduo é seco a 103-105ºC e pesado até se obter um peso constante. A diferença de peso representa os Sólidos Suspensos Totais (SST) presentes na amostra.

O resíduo obtido é calcinado na mufla a 550ºC. O resultante e o perdido por calcinação representam, respetivamente, os Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e Voláteis (SSV).

Interferências

Os resultados para os sólidos estão sujeitos a erros devido a perdas de compostos voláteis durante a evaporação de dióxido de carbono, de minerais voláteis durante a calcinação e à presença de dióxido de cálcio nas cinzas.

Sólidos contendo elevado teor de óleos e gorduras, podem ter um resultado duvidoso devido à dificuldade de secagem a peso constante num tempo razoável.

Amostras com elevadas concentrações de sólidos dissolvidos (filtráveis), podem originar uma interferência positiva (sólidos dissolvidos que eventualmente ficam retidos). Nestes casos deve ser tomado especial cuidado ao selecionar o aparelho de filtração de modo a que a lavagem do filtro seja eficiente, no sentido de minimizar esta potencial interferência.

Amostragem e conservação

Ver o Esquema de Trabalho - Conservação de Amostras *DOP-LAB-EQ012*.

2 Material e Equipamento

Sistema de filtração por vácuo

Discos de filtro de fibra de vidro

Bomba de vácuo

Cápsulas de porcelana/ alumínio (20mL)

Provetas graduadas

Pipetas Pasteur de plástico

Pinças de pontas finas

Espátula metálica

Estufa de secagem (103-105ºC)

Mufla (550ºC)

Balança analítica

Excitador

3 Reagentes

- Solução padrão de Avicel pH-101

4 Noções de Segurança

O padrão Avicel consiste num pó branco, constituído por celulose. Deverá evitar-se a inalação do pó. Usar sempre luvas e proteção adequada para os olhos/cara. Em caso de contacto com a pele ou olhos, lavar imediata e abundantemente com água durante 15 minutos e chamar um médico.

5 Técnica

- *Preparação das taras*

Preparar o número de taras necessário para a semana de trabalho, de acordo com o Esquema de Trabalho *DOP-LAB-EQ036*.

Colocar um disco de filtro de fibra de vidro na membrana do aparelho de filtração; Aplicando vácuo, proceder a três lavagens sucessivas do disco com cerca de 20mL de água desionizada. Continuar a aplicar o vácuo depois da água ter passado (desprezar as águas de lavagem). Colocar o filtro, sem dobrar, numa cápsula numerada.

Para a determinação de sólidos suspensos totais, levar as cápsulas contendo os filtros à estufa durante 1 hora a 103-105ºC.

Retirar e deixar arrefecer completamente no exsicador até à temperatura ambiente. Pesar as cápsulas numa balança analítica e registar o valor obtido no impresso de Registo de Taras *DOP-LAB-IP025*, na tabela referente às taras para a determinação de SST, na respetiva semana de trabalho.

Repetir os passos de secagem na estufa, arrefecimento no exsicador e pesagem, até que se verifique peso constante, ou seja, cuja variação seja inferior a 0,5mg.

Para a determinação de SSV, levar as cápsulas contendo os filtros à mufla a 550ºC durante 15-20 minutos.

Retirar e deixar arrefecer completamente no exsicador até à temperatura ambiente; Pesar as cápsulas numa balança analítica e registar o valor obtido no Impresso de Registo de Taras *DOP-LAB-IP025*, na tabela referente às taras para a determinação de SSV, na respetiva semana de trabalho.

Repetir os passos de secagem na mufla, arrefecimento no exsicador e pesagem, até que se verifique peso constante.

- *Seleção do volume de amostra*

O volume de amostra a filtrar deverá ser escolhido em função da quantidade de matéria existente em suspensão na amostra, pelo que será necessário um maior volume para amostras contendo uma menor quantidade de matéria suspensa. O volume de amostra usado deverá produzir um resíduo seco entre 2,5 a 200mg.

- *Determinação dos Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis*

Montar o aparelho de filtração e iniciar a sucção;

Humedecer o filtro com um pouco de água desionizada para aderir melhor ao suporte; Medir um volume adequado de amostra bem homogeneizada. Filtrar por vácuo;

Lavar a proveta e o filtro três vezes com porções de 10mL de água desionizada;

Deixar o vácuo funcionar cerca de três minutos após filtração da última água de lavagem;

Retirar, cuidadosamente, o filtro do suporte, colocar na cápsula que lhe serve de suporte;

Levar a cápsula contendo o filtro com a amostra à estufa durante 1 hora a 103-105ºC;

Retirar e deixar arrefecer completamente no exsicador até à temperatura ambiente;

Pesar as cápsulas numa balança analítica e registar o valor obtido no Relatório de Ensaio de SST/SSV *DOP-LAB-IP001* (campo P_1), correspondente à amostra filtrada;

Repetir os passos de secagem na estufa, arrefecimento no exsicador e pesagem, até que se verifique peso constante.

Para a determinação de SSV, levar as cápsulas contendo os filtros com a amostra seca à mufla durante 15-20 minutos a 550ºC;

Arrefecer no exsicador até à temperatura ambiente;

Pesar as cápsulas numa balança analítica e registar o valor obtido no Relatório de Ensaio *DOP-LAB-IP001* (campo P_2), correspondente à amostra filtrada;

Repetir os passos de calcinação na mufla, arrefecimento no exsicador e pesagem, até que se verifique peso constante.

6 Resultados

Os sólidos suspensos são obtidos pelas expressões:

$$SST(mg/L) = \frac{(P_1 - P_0) \times 1000}{V}$$

$$SSV(mg/L) = \frac{(P_1 - P_2) \times 1000}{V}$$

$$SSF(mg/L) = \frac{(P_2 - P_0) \times 1000}{V}$$

Em que:

V – Volume da amostra (mL);

P0 – Peso do papel de filtro após preparação (mg);

P1 – Peso do papel de filtro com resíduo seco (estufa 103-105ºC) (mg);

P2 – Peso da cápsula com resíduo calcinado (mufla 550ºC) (mg);

SST – Sólidos Suspensos Totais;

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis;

SSF – Sólidos Suspensos Fixos.

7 Controlo de Qualidade

Para testar a precisão do método, substituir, no procedimento, o volume de amostra pela quantidade equivalente de solução padrão conforme o Plano de Controlo de Qualidade *DOP-LAB-EQ015*. Preparar os padrões segundo o esquema de trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

Para testar a exatidão do método, deverão ser realizados ensaios de recuperação de padrão.

Registar os valores obtidos nos padrões e nas recuperações do padrão no impresso *DOP-LAB-IP041*.

Efetuar ensaios brancos e ensaios de amostras em duplicado. Registar os valores obtidos na plataforma digital do Laboratório.

8 Bibliografia

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 2540D, 21th edition;

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 2540E, 21th edition;

Ficha de Segurança de Avicel ® pH-101.

9 Documentos Relacionados

Impressos *DOP-LAB-IP001/25/41*;

Esquemas de trabalho *DOP-LAB-EQ010/12/14/15/36*.

Anexo D.2 – Procedimento da determinação de CQO

1 Introdução

A Carência Química de Oxigénio (CQO) indica a quantidade de oxigénio consumida na oxidação, por via química, das substâncias orgânicas, e algumas inorgânicas, oxidáveis existentes na amostra.

Princípio do método

O princípio do método baseia-se no facto das substâncias oxidáveis reagirem com uma solução ácida de dicromato de potássio, na presença do catalizador sulfato de prata e à ebulição em refluxo fechado, de modo a evitar a perda de componentes voláteis. Deste modo o ião dicromato, $Cr_2O_7^{2-}$ é convertido no ião crómio (III), Cr^{3+}. A quantidade destes iões pode ser determinada pelo método colorimétrico, com um espectrofotómetro. Consoante a quantidade de oxigénio consumido, 5-60 mg/L, 15-150 mg/L ou 100-2000 mg/L, a determinação é baseada na redução da cor amarela do Cr^{6}, no caso das duas primeiras gamas de trabalho, ou na redução da cor verde do Cr^{3+}, no caso da gama mais alta e detetável a 348nm, 448nm e a 605nm, respetivamente.

Interferências

Este método é aplicado em amostras com concentrações de cloretos até 1500 mg/L. Esta interferência pode ser eliminada com a adição de sulfato de mercúrio à amostra antes da ebulição.

A quantidade de CQO presente na amostra pode exceder a gama de trabalho. Neste caso deve-se diluir a amostra e proceder a uma nova leitura.

Amostragem e conservação

Ver o Esquema de Trabalho - Conservação de Amostras *DOP-LAB-EQ012*.

2 Material e Equipamento

Balança analítica
Espátula metálica
Copos graduados
Termoreator
Espectrofotómetro visível
Balões volumétricos
Pipetas volumétricas
Micropipeta de 1-5mL
Pontas descartáveis

3 Reagentes

• *Kits* para a determinação de CQO:
Gama baixa, 5-60 mg/L, Lange LCK 1414
Gama intermédia, 15-150 mg/L, Lange LCK 314
Gama alta, 100-2000 mg/L, Lange LCK 514
Os *kits* são constituídos por tubos de vidro que contêm no seu interior uma solução aquosa para a digestão.

• Solução padrão de hidrogenoftalato de potássio de 1000mg/l CQO Hach Lange;

• Hidrogenoftalato de potássio, $HOOCC_6H_4COOK$: dissolver 1,7g previamente seco a 110ºC durante 2h, em água desionizada e diluir a 1000mL, para obter uma solução padrão com um CQO teórico de 2000mg/L. O padrão deve ser guardado a cerca de 4ºC e renovado mensalmente.

• Água desionizada

4 Noções de Segurança

Dos componentes presentes na solução de digestão das gamas mais baixas, há que referir a presença do sulfato de mercúrio e do ácido sulfúrico, dadas as suas características tóxicas por inalação, ingestão e em contacto com a pele, nocivas para os organismos aquáticos, o que pode causar efeitos nefastos a longo prazo no ambiente aquático, para além de corrosivas, podendo causar queimaduras graves.

Na solução de digestão da gama alta, os componentes perigosos são o dicromato de potássio, sulfato de mercúrio e do ácido sulfúrico. Os riscos associados à sua utilização referem-se ao perigo de efeitos cumulativos, podendo causar cancro, alterações genéticas hereditárias e comprometer a fertilidade e a gravidez, apresentando ainda características de risco idênticas ao da solução de digestão da gama baixa.

Usar sempre vestuário de protecção, luvas e equipamento protector adequado para os olhos/cara. Em caso de acidente por contacto ou indisposição, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista.

5 Técnica

Se a amostra conter matéria em suspensão deve-se homogeneíza-la de forma a permitir a sua dispersão completa, obtendo-se o CQO total. Se se pretender determinar o CQO dissolvido, deve-se filtrar a amostra através de papel de filtro de fibra de vidro.

Seleccionar o *kit* com a gama desejada, de acordo com a turvação da amostra, usando uma gama mais baixa para as amostras mais límpidas;

Homogeneizar a amostra, amostra diluída ou padrão. Com uma micropipeta ou pipeta volumétrica, medir 2 mL de amostra, amostra diluída ou padrão para um tubo de reacção identificado, segurando-o a 45 graus. Tapar o tubo e limpar cuidadosamente o seu exterior com papel macio. Segurar o tubo pela tampa e inverter suavemente algumas vezes para homogeneizar;

Ligar o termoreator HT200S. Seleccionar o programa "HT" e depois "15 min". Inverter cuidadosamente cada tubo (cerca de 2x), antes de o colocar no termoreator. A digestão irá decorrer a 170 ºC durante 15 min, seguido por um arrefecimento durante

cerca de 20 min. Após o sinal sonoro, retirar cuidadosamente os tubos do termoreator e invertê-los cuidadosamente (cerca de 2x). Deixar arrefecer até à temperatura ambiente;

Ligar o espectrofotómetro. A autocalibração é iniciada automaticamente;

Limpar o exterior do tubo com um pano macio para eliminar as impressões digitais e outras marcas. Colocar o tubo no suporte do espectrofotómetro. Automaticamente são efectuadas 10 leituras e resultado médio é visualizado no ecrã. Registar este valor no Relatório de Ensaio *DOP-LAB-IP002*, no campo respeitante ao parâmetro de CQO. No caso de amostra diluída, registar ainda o respetivo factor de diluição.

6 Controlo de Qualidade

Para testar a precisão do método, substituir, no procedimento, o volume de amostra pela mesma quantidade de padrão com valores teóricos de acordo com o Plano de Controlo de Qualidade *DOP-LAB-EQ015*. Estes padrões devem ser preparados segundo o esquema de trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

Para testar a exatidão do método, deverão ser realizados ensaios de recuperação do padrão. Os valores obtidos nos padrões e nos ensaios de recuperação do padrão deverão ser registados no impresso *DOP-LAB-IP040*.

Devem ainda ser efetuados ensaios de amostras em duplicado. Registar os valores obtidos na plataforma digital do Laboratório.

7 Resultados

Os resultados de CQO são expressos em mg O_2/L e aparecem directamente no ecrã. No caso de amostra diluída, multiplicar o resultado pelo respectivo factor de diluição.

8 Bibliografia

The Handbook DR3800 – Laboratory Spectrophotometer;

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 5220D, 21th edition;

Ficha de Segurança dos *kits* Lange LCK 414, 314 e 514.

9 Documentos Relacionados

Impressos *DOP-LAB-IP002/40*;

Esquemas de trabalho *DOP-LAB-EQ001/12/14/15/33*.

Anexo D.3 – Procedimento da determinação de Fósforo Total

1 Introdução

O fósforo é um elemento de grande importância para a atividade biológica. Contudo, em grande quantidade, em massas de água, pode provocar a eutrofização (proliferação de algas), prejudicando o meio ambiente aquático.

As formas mais vulgares da ocorrência do fósforo na água incluem os ortofosfatos (PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^-$ e H_3PO_4), os polifosfatos (forma molecular não-hidratada) e os fosfatos orgânicos. Estes compostos de fósforo são utilizados em grandes quantidades nos fertilizantes agrícolas, detergentes e processos industriais, pelo que é essencial controlar a sua presença nos efluentes domésticos e industriais.

Princípio do método

A determinação de fósforo total pelo método colorimétrico é baseada na reação dos iões fosfato, em meio ácido, com os iões molibdato e antimónio, formando um complexo fosfomolibdato antimónio que é reduzido pelo ácido ascórbico a fosfomolibdénio azul, suscetível de quantificação espectrofotométrica a 890nm.

Interferências

A presença de sulfato acima dos 5000mg/L pode causar interferências. O cloro, acima dos 2000mg/L. O sódio, potássio e cálcio, acima dos 1000mg/L. O magnésio e nitratos, acima dos 500mg/L. Alguns metais como o cobalto, ferro (II) e (III), zinco, cobre, níquel, iodeto, nitritos, cádmio, estrôncio, amónia, manganésio, alumínio, mercúrio, chumbo e silicatos acima dos 50 mg/L. A prata acima dos 25mg/L e o crómio (III) e (VI) acima dos 10 e 5 mg/L, respetivamente.

Se a amostra conter ácido fosfórico, o tempo de hidrólise terá de ser aumentado para 2h a 100ºC.

A quantidade de fósforo total presente na amostra pode exceder a gama de trabalho. Neste caso deve-se diluir a amostra e proceder a uma nova leitura.

Amostragem e conservação

Ver o Esquema de Trabalho - Conservação de Amostras *DOP-LAB-EQ012*.

ELABORAÇÃO:	REVISÃO:	APROVAÇÃO:
DATA: __/__/____	DATA: __/__/____	DATA: __/__/____

2 Material e Equipamento

Espectrofotómetro visível
Termoreator
Balões volumétricos
Pipetas volumétricas
Micropipeta de 0.1-1mL
Pontas descartáveis para micropipeta

3 Reagentes

• *Kit* para a determinação de fósforo total:
Gama baixa 0,5-5,0mg/L PO_4-P, Lange LCK 348
Gama alta 2-20mg/L PO_4-P, Lange LCK 350

O *kit* é constituído por tubos de vidro, que contêm no seu interior uma solução aquosa para a digestão, e respetiva tampa DosiCapZip contendo reagente; solução reagente B e tampas cinzentas DosiCap C com o reagente incorporado.

• Soluções padrão de fósforo total (P):
Comercialmente existe uma solução padrão de 1000mg/L de P.
Deverão ser preparadas soluções padrão com valores teóricos conforme o Esquema de Trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

• Água desionizada

4 Noções de Segurança

Dos componentes presentes na solução de digestão e na solução B, há que referir a presença do ácido sulfúrico, que confere propriedades corrosivas, podendo causar queimaduras graves.

Na tampa DosiCapZip, estão presentes o peroxodissulfato e o metaborato de sódio, que são nocivos por ingestão, irritantes para os olhos, vias respiratórias e pele, podendo causar sensibilização por inalação e em contacto com a pele.

Na tampa DosiCap C, estão presentes o ácido ascórbico, o metaborato de sódio e o dextrano, que podem ser irritantes para os olhos, vias respiratórias e pele.

Usar sempre vestuário de proteção, luvas e equipamento protetor adequado para os olhos/cara. Em caso de acidente por contacto ou indisposição, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista.

5 Técnica

Selecionar o *Kit* com a gama desejada, de acordo com os valores esperados para as amostras.

Remover cuidadosamente a película de alumínio da tampa DosiCapZip e retirar a tampa do tubo de vidro.

Homogeneizar a amostra, amostra diluída ou padrão. Com uma micropipeta adicionar 0,5 (gama baixa) ou 0,4mL (gama alta) de amostra, amostra diluída ou padrão para um tubo identificado, segurando-o a 45 graus.

Inverter a tampa e tapar imediatamente o tubo de vidro. Segurar o tubo pelas extremidades e agitar algumas vezes para dissolver o reagente presente na tampa DosiCapZip.

Ligar o termoreator HT200S. Selecionar o programa "HT" e depois "15 min". Colocar os tubos no termoreator. A digestão irá decorrer a 170ºC durante 15 min, seguido por um arrefecimento durante cerca de 20 min. Após o sinal sonoro, retirar cuidadosamente os tubos do termoreator e deixar arrefecer até à temperatura ambiente.

Ligar o espectrofotómetro. A autocalibração é iniciada automaticamente.

Com uma micropipeta, adicionar 0,5mL de solução B referente ao *Kit* que se está a usar e tapar com uma tampa cinzenta DosiCap C, a cada tubo. Invertê-los várias vezes, até homogeneizar a solução e dissolver o reagente presente na tampa. Deixar reagir durante 10 min.

Limpar o exterior do tubo com um pano macio para eliminar as impressões digitais e outras marcas. Colocar o tubo no suporte do espectrofotómetro. Automaticamente são efetuadas 10 leituras e o resultado médio é visualizado no ecrã. Registar este valor no Impresso do Relatório de Ensaio *DOP-LAB-IP002*, no campo respeitante ao parâmetro de Pt. No caso de amostra diluída, registar ainda o respetivo fator de diluição.

6 Controlo de Qualidade

Para testar a precisão do método, substituir, no procedimento, o volume de amostra pela mesma quantidade de padrão com valores teóricos de acordo com o Plano de Controlo de Qualidade *DOP-LAB-EQ015*. Estes padrões devem ser preparados segundo o esquema de trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

Para testar a exatidão do método, deverão ser realizados ensaios de recuperação do padrão. Os valores obtidos nos padrões e nos ensaios de recuperação do padrão deverão ser registados no impresso *DOP-LAB-IP040*.

Devem ainda ser efetuados ensaios de amostras em duplicado. Registar os valores obtidos na plataforma digital do Laboratório.

7 Resultados

Os resultados de Pt são expressos em mg PO_4-P/ L e aparecem diretamente no ecrã. No caso de amostra diluída, multiplicar o resultado pelo respetivo fator de diluição.

8 Bibliografia

The Handbook DR3800 – Laboratory Spectrophotometer.

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 4500-PC, 21st ed.

Ficha de Segurança do *Kit* Lange LCK 348 e 350.

9 Documentos Relacionados

Impressos *DOP-LAB-IP002/40;*

Esquema de trabalho *DOP-LAB-EQ002/14/15/33.*

Anexo D.4 – Procedimento da determinação de Azoto Amoniacal

1 Introdução

A amónia resultante da fixação microbiana do azoto é apenas uma pequena parte da existente na natureza, proveniente, a maior parte da decomposição microbiana de compostos orgânicos azotados. A redução de nitratos e nitritos, por plantas superiores e microrganismos, também constitui uma fonte de amónia. Elevadas concentrações de azoto amoniacal em águas são indicativas de poluição recente, com risco elevado para a vida aquática.

Princípio do método

A determinação de azoto amoniacal pelo método colorimétrico é baseada na reação do ião amónio com os iões hipoclorito e salicilato, em meio alcalino de pH 12.6, na presença do catalisador nitroprussiato de sódio, para formar azul de indofenol, suscetível de quantificação espectrofotométrica a 690nm.

Interferências

Pode haver interferências devido à presença de aminas primárias (aumentam os valores) e agentes redutores (baixam os valores).

Existe ainda a interferência de alguns elementos na amostra, que podem influenciar os resultados. Assim, os valores acima dos quais há interferência são: cloretos e os sulfatos 1000mg/L, potássio, sódio e cálcio 500mg/L, carbonatos, nitratos, ferro (II), crómio, zinco, cobre, cobalto, níquel e mercúrio 50mg/L, ferro (II) 25mg/L, estrôncio 10mg/L, chumbo 5mg/L e prata 2mg/L.

A quantidade de azoto amoniacal presente na amostra pode exceder a gama de trabalho. Neste caso deve-se diluir a amostra e proceder a uma nova leitura.

Amostragem e conservação

Ver o Esquema de Trabalho - Conservação de Amostras *DOP-LAB-EQ012*.

ELABORAÇÃO:	REVISÃO:	APROVAÇÃO:
DATA: ___/___/_____	DATA: ___/___/_____	DATA: ___/___/_____

2 Material e Equipamento

Espectrofotómetro visível
Balões volumétricos
Pipetas graduadas e volumétricas
Micropipetas de 0.1-1 e de 1-5mL

3 Reagentes

• *Kit's* para a determinação de Azoto amoniacal (NH_4):
Gama alta 2-47mg/L NH_4-N/ 2,5-60mg/L NH_4, Hach Lange LCK 303

Os *Kit's* são constituídos por tubos de vidro, que contêm no seu interior uma solução aquosa, e respetiva tampa DosiCapZip contendo reagente incorporado.

• Soluções padrão de NH_4:
Comercialmente existe uma solução padrão de 100mg/L de NH_3-N. Deverão ser preparadas soluções padrão com valores teóricos conforme o Esquema de Trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

• Água desionizada

4 Noções de Segurança

Dos componentes presentes na solução aquosa do tubo de reação, é de referir a presença do Hidróxido de sódio, que confere propriedades corrosivas, podendo causar queimaduras graves.

Na tampa DosiCapZip estão presentes o D-(-)-manitol, dicloroisocianurato sódico di-hidrato, trocloseno sódio di-hidrato e nitroprussiato de sódio (di-hidrato), sendo irritantes para os olhos, pele e vias respiratórias, nocivo por ingestão, tóxico para os organismos aquáticos, podendo causar efeitos nefastos a longo prazo. Em contacto com ácidos, são libertados gases tóxicos.

Usar sempre vestuário de proteção, luvas e equipamento protetor adequado para os olhos/cara. Em caso de acidente por contacto ou indisposição, lavar imediatamente e abundantemente com água e consultar um especialista.

5 Técnica

Ligar o espectrofotómetro. A autocalibração é iniciada automaticamente.

Remover cuidadosamente a película de alumínio da tampa DosiCapZip e retirar a tampa do tubo de vidro.

Homogeneizar a amostra filtrada, amostra filtrada diluída ou padrão. Com uma micropipeta adicionar 0,2mL de amostra ou padrão para um tubo identificado, segurando-o a 45 graus.

Inverter a tampa e tapar imediatamente o tubo de vidro. Segurar o tubo pelas extremidades e agitar algumas vezes para dissolver o reagente presente na tampa DosiCapZip. Deixar reagir durante 15 min.

Limpar o exterior do tubo com um pano macio para eliminar as impressões digitais e outras marcas. Colocar o tubo no suporte do espectrofotómetro. Automaticamente são efetuadas 10 leituras e o resultado médio é visualizado no ecrã. Registar este valor no Relatório de Ensaio *DOP-LAB-IP002*, no campo respeitante ao parâmetro (NH_4). No caso de amostra diluída, registar ainda o respetivo fator de diluição.

6 Controlo de Qualidade

Para testar a precisão do método, substituir, no procedimento, o volume de amostra pela mesma quantidade de padrão com valores teóricos de acordo com o Plano de Controlo de Qualidade *DOP-LAB-EQ015*. Estes padrões devem ser preparados segundo o esquema de trabalho *DOP-LAB-EQ014*.

Para testar a exatidão do método, deverão ser realizados ensaios de recuperação do padrão. Os valores obtidos nos padrões e nos ensaios de recuperação do padrão deverão ser registados no impresso *DOP-LAB-IP040*.

Devem ainda ser efetuados ensaios de amostras em duplicado. Registar os valores obtidos na plataforma digital do Laboratório.

7 Resultados

Os resultados dos ensaios aparecem no ecrã em unidades de mg NH_4-N/L. Para os converter em unidades de mg/L NH_4 é necessário multiplicar o resultado pelo valor absoluto de 1.287.

No caso de amostra diluída, multiplicar este último resultado pelo respetivo fator de diluição.

8 Bibliografia

The Handbook DR3800 – Laboratory Spectrophotometer;

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 4500-NH_3E 21th ed;

Ficha de segurança de Hach Lange LCK 303.

9 Documentos Relacionados

Impressos *DOP-LAB-IP002/40;*

Esquemas de trabalho *DOP-LAB-EQ006/12/14/15/33.*

Anexo D.5 – Procedimento da determinação de pH

1 Introdução

Genericamente, o pH pode ser definido como a relação numérica que expressa o equilíbrio entre os iões hidrogénio (H^+) e hidroxilo (OH^-), o que traduz a acidez do meio. A escala de pH usada (Escala Sorensen) é de 0 a 14 na temperatura de 25ºC. Um valor de pH 7 indica neutralidade, sendo que pH superior a 7 denota alcalinidade e pH inferior a 7 acidez.

O conhecimento deste parâmetro analítico numa água residual é deveras importante dado que o seu valor determina a maior parte das reações químicas que aí decorrem e, portanto, a eficiência dos sistemas de tratamento e a resistência dos equipamentos usados.

Princípio do método

O princípio da medição eletrométrica do pH é a determinação da atividade iónica do hidrogénio, utilizando um elétrodo de vidro e um elétrodo de referência, ou um elétrodo combinado (vidro e referência), e um medidor de pH, também designado por potenciómetro.

Interferências

Como a temperatura afeta as propriedades do elétrodo e o equilíbrio químico, a determinação do pH é afetada pela temperatura. Apesar da maioria dos medidores de pH dispor de um sistema de compensação da temperatura, a leitura deverá ser realizada a 20ºC.

O ião sódio interfere para valores de pH acima de 10. Esta interferência é diminuída com a utilização de elétrodos especiais.

Amostragem e conservação

Ver o Esquema de Trabalho - Conservação de Amostras *DOP-LAB-EQ012*.

2 Material e Equipamento

2.1 Thermo Orion Star A111

Copos de vidro (ou de plástico)
Barras magnéticas

ELABORAÇÃO:	REVISÃO:	APROVAÇÃO:
_____	_____	_____
DATA: __/__/____	DATA: __/__/____	DATA: __/__/____

Placa com agitação magnética
Elétrodo de pH Thermo Orion 9157BNMD
Medidor de pH Thermo Orion Star A111

2.2 Skalar SP10$^{pH/Cond}$

Copos de plástico Skalar
Elétrodo de pH Sentix 60 WTW
Medidor de pH inoLab Cond 730 WTW
Analisador robotizado Skalar SP10$^{pH/Cond}$ e acessórios

3 Reagentes

3.1 Thermo Orion Star A111

Soluções padrão de pH com valores teóricos de 4,01; 7,00 e 10,01 (a 25ºC)
Solução de enchimento do elétrodo de pH Orion 900011
Garrafa de armazenamento do elétrodo Orion 910003
Solução eletrolítica de armazenamento do elétrodo de pH Orion 910060
Solução eletrolítica de limpeza do elétrodo Orion 900024
Água desionizada

3.2 Skalar SP10$^{pH/Cond}$

Soluções padrão de pH com valores teóricos de 4,01 e 7,00 (a 25ºC)
Solução eletrolítica de enchimento e armazenamento do elétrodo de Cloreto de potássio (KCl) a 3M
Solução de limpeza do elétrodo de Ácido cítrico a 10%
Água desionizada

4 Noções de Segurança

As soluções de enchimento e armazenamento do elétrodo, bem como os padrões, apresentam toxicidade reduzida para a saúde. Podem surgir casos de irritação dos olhos,

a pele e das vias respiratórias. O ácido cítrico é irritante e pode provocar irritação ocular grave.

Em caso de contacto com os olhos, lavar imediata e abundantemente com água e consultar um oftalmologista. Se ocorrer a ingestão beber 1-2 copos de água e chamar um médico.

Usar sempre luvas e proteção adequada para os olhos/cara.

5 Técnica

5.1 Thermo Orion Star A111

5.1.1 Calibração do elétrodo de pH

O elétrodo deverá estar devidamente limpo e possuir solução eletrolítica no seu interior, conforme o respetivo manual do equipamento e Procedimento de Utilização *DOP-LAB-PU022*.

A calibração do elétrodo deverá ser feita da seguinte forma:

1. Ligar o medidor em ⏻ ;
2. Retirar a garrafa de armazenamento do elétrodo de pH e a tampa que cobre o orifício de enchimento;
3. Lavar o elétrodo com água desionizada e secar com papel macio;
4. Premir em cal ;
5. Quando aparecer a mensagem *"pH CAL.1"* no visor, imergir o elétrodo na solução padrão de pH 7,00 com agitação moderada. Assim que o ícone do pH deixar de estar intermitente no visor e aparecer a mensagem *"READY"*, registar o valor obtido no Impresso *DOP-LAB-IP006*. Premir em cal ;
6. Retirar o elétrodo do padrão e repetir o passo 3;
7. Quando aparecer a mensagem *"pH CAL.2"* no visor, imergir o elétrodo na solução padrão de pH 4,01com agitação moderada. Assim que o ícone do *"pH"* deixar de estar intermitente no visor e aparecer a mensagem *"READY"*, registar o valor obtido no Impresso *DOP-LAB-IP006*. Premir em cal ;
8. Retirar o elétrodo do padrão e repetir o passo 3;

9. Quando aparecer a mensagem *"pH CAL.3"* no visor, imergir o elétrodo na solução padrão de pH 10,01 com agitação moderada. Assim que o ícone do *"pH"* deixar de estar intermitente no visor e aparecer a mensagem *"READY"*, registar o valor obtido no Impresso *DOP-LAB-IP006*. Se o valor obtido estiver fora dos critérios de aceitação definidos, substituir por uma solução padrão nova e imergir o elétrodo.
10. Premir em e registar o valor do coeficiente de correlação de calibração *"SLP.A"* e depois da temperatura;
11. Retirar o elétrodo do padrão e repetir o passo 3. Imergir o elétrodo de pH em água desionizada;

5.1.2 Medição do pH nas amostras

Após calibração do elétrodo, proceder à determinação do pH das amostras, do seguinte modo:

12. Retirar o elétrodo da água desionizada e repetir o passo 3;
13. Imergir o elétrodo na amostra, contida num copo com um agitador magnético, em agitação moderada, ou diretamente no frasco de amostragem;
14. Premir em ;
15. Assim que os ícones de *"AR"* e *"pH"* deixarem de estar intermitentes no visor e aparecer a mensagem *"READY"*, registar os resultados de pH e da temperatura da amostra líquida ou (semi) sólida no Impresso *DOP-LAB-IP001/5*, respetivamente;
16. Repetir os passos 13-14, até obter um valor médio aceitável;
17. Retirar o elétrodo da amostra e repetir o passo 3;
18. Caso se pretenda efetuar a leitura de uma outra amostra, repetir os passos 12-16;
19. No final de todas as leituras, repetir o passo 3 e desligar a placa de agitação, caso esteja em uso. Colocar a garrafa de armazenamento, contendo a solução de armazenamento e tapar o orifício situado na parte superior deste com a respetiva tampa. Deixar o equipamento limpo de impurezas superficiais.

5.2 Skalar SP10$^{pH/Cond}$

5.2.1 Calibração do elétrodo de pH

O elétrodo deverá estar devidamente limpo e possuir solução eletrolítica no seu interior, conforme o manual do equipamento e Procedimento de Utilização *DOP-LAB-PU016*.

A calibração do elétrodo deverá ser feita da seguinte forma:

1. Retirar a cápsula protetora do elétrodo de pH e a tampa que cobre o orifício de enchimento;
2. Lavar o elétrodo com água desionizada e secar com papel macio;
3. Ligar o medidor de pH ;
4. Premir a tecla ;
5. Quando aparecer *"Ct 1"* no visor, imergir o elétrodo de pH na solução padrão de pH 7,00 e premir a tecla . O valor do padrão é apresentado em unidades mV e a indicação *"AR"* surge no visor de forma intermitente. Assim que estabilizar, registar o valor obtido no Impresso *DOP-LAB-IP006*;
6. Quando aparecer *"Ct 2"* no visor, remover o elétrodo do padrão e repetir o passo 2;
7. Mergulhar o elétrodo de pH na solução padrão de pH 4,01 e premir a tecla . Assim que estabilizar, registar o valor obtido no Impresso *DOP-LAB-IP006*, tal como o valor do coeficiente de correlação da calibração (*slope*) e da temperatura que aparecem de seguida;
8. Remover o elétrodo do padrão e repetir o passo 2;
9. Caso o valor do *"slope"* obtido esteja fora dos critérios de aceitação definidos , deverão ser verificadas as condições de limpeza e funcionalidade do elétrodo, a estabilidade das soluções padrão usadas e a calibração deverá ser novamente realizada, antes de se prosseguir com a medição de pH;

5.2.2 Medição de pH nas amostras

Após a calibração do elétrodo, proceder à determinação do pH das amostras, do seguinte modo:

10. Ligar o SP10 no botão *"ON/OFF"*. O equipamento faz uma verificação ao sistema acompanhada por um sinal sonoro;
11. Ligar o computador. Surge uma caixa de texto a pedir para premir as teclas *Ctrl+Alt+Delete*. Preencher os campos referentes ao Nome do utilizador e Palavra-passe;
12. Abrir o programa "wSSPIP" fazendo duplo clique no ícone do ambiente de trabalho;
13. Preencher os campos *Acess code* e *Password*. Clicar em *"CONFIRM"*;
14. Fazer um teste de comunicação para verificação do sistema. No menu *"Options"*, selecionar *"Communication test"* e depois *"START"*. O equipamento faz uma verificação ao sistema acompanhado de um sinal sonoro. No final deverá aparecer a mensagem *"The comunication test has passed"*. Caso surja a mensagem *"The comunication test has failed"*, o teste de comunicação falhou, pelo que deverá ser consultado o Procedimento de Utilização do equipamento *DOP-LAB-PU016*. Fechar a tabela clicando no "X" do canto superior direito da janela;
15. Clicar em *"MAIN MENU"*, selecionar com duplo clique *"ANALYSES"* para surgirem as aplicações existentes e depois clicar na pasta *"PHEC"* (aplicação para análise de pH e Condutividade);
16. A tabela de trabalho a usar poderá ser elaborada de raiz (nova) ou a partir de uma pré-definida (designada por *"Template"*). Para tal, seguir respetivamente os pontos 19-21 ou 22-23;
17. Para elaborar uma tabela de trabalho, selecionar a opção *"New"*. Aparece a janela *"Analyses Description"* onde deverão ser preenchidos no separador *General* os campos com a sigla do operador (*Operator*), o número de tabuleiros de amostras usados (*Number of racks*) e a designação da análise (*Description*). Clicar *"OK"*;
18. Surgem as perguntas: *"Mesure EC?"* e *"Mesure pH?"*, para confirmar se o operador pretende efetuar medição de condutividade e medição de pH, respetivamente. Clicar *"Sim"* ou *"Não"* conforme o pretendido para análise;
19. Surge uma tabela. Preencher a coluna *"Identity "* com a designação do item a ser analisado. Nas colunas intituladas de EC e pH, colocar um *"Y"* (sim, do inglês *Yes*) ou um *"N"* (não, do inglês *No*) que informa o equipamento para fazer ou não a leitura do parâmetro. Colocar o cursor numa posição vaga de modo a não selecionar nenhuma amostra/padrão. Clicar em *"SAVE"* para gravar a tabela e de seguida em *"CLOSE"*;

20. Caso se queira usar uma tabela de trabalho pré-definida, selecionar a tabela pretendida da pasta "*PHEC*" apresentada no ponto 18 e clicar e "*SAMPLES*". No campo designado por *Templates*, clicar em "*USE*". Surge a listagem de "*Templates*", de onde ser deverá selecionar o pretendido, clicando em "*SELECT*". Clicar em "*SAVE*" para gravar a tabela e de seguida em "*CLOSE*";
21. Para criar uma tabela de trabalho pré-definida, selecionar a tabela modelo da pasta "*PHEC*" apresentada no ponto 18 e clicar e "*SAMPLES*". No campo *Templates*, clicar em "*CREATE*", introduzir a designação da análise (*Description*) e clicar em "*SAVE*". Introduzir os dados conforme o ponto 21, clicar em "*SAVE*" para gravar a tabela e de seguida em "*CLOSE*";
22. Colocar os copos com amostra/padrão no tabuleiro pela ordem indicada na tabela de trabalho, sabendo que a ordem a seguir é de trás para a frente e da esquerda para a direita. O tabuleiro é colocado de modo que os seus cantos recortados fiquem do lado posterior;
23. Verificar se existe água desionizada limpa e corrente nos copos de lavagem;
24. Para iniciar a análise, selecionar a tabela de trabalho pretendida e clicar em "*RUN*". O equipamento faz uma verificação ao sistema acompanhado de um sinal sonoro e no final surge a seguinte pergunta: "*Do you want to start the application?*". Isto é, deseja iniciar a aplicação? Clicar "SIM";
25. De seguida surge a pergunta:"*Position first sample?*". Significa começar pela amostra nº? Preencher com o número 1 (primeira posição) e clicar "*CONFIRM*";
26. Surge a pergunta: "*Amount of samples?*", ou seja, qual o número total de amostras? Preencher com o número total de análises e clicar em "*CONFIRM*";
27. O equipamento inicia a análise;
28. Quando a análise termina aparece a mensagem: "*The program has ended*". Clicar "*OK*" para fechar a janela;
29. Para visualizar os valores obtidos clicar em "*SAMPLES*". Registar o resultado de pH e da temperatura da amostra líquida no Impresso *DOP-LAB-IP001*. Clicar em "*CLOSE*" para fechar a tabela;
30. Repetir o passo 16, com o objetivo de elevar o elétrodo dos copos de lavagem;
31. Desligar a água desionizada;
32. Desligar o SP10 e o medidor de pH;

33. Repetir o passo 2, colocar a cápsula protetora contendo a solução de armazenamento no elétrodo de pH e tapar o orifício de enchimento com a respetiva tampa;
34. Fechar todas as janelas do programa clicando em "*CLOSE*". Por fim, a janela principal clicando em "*MAIN MENU*" seguido de "*QUIT*". É perguntado se realmente se pretende abandonar o programa: "*Do you really want to leave the program?*". Clicar em "SIM". Desligar o computador;
35. Remover do tabuleiro os copos contendo as amostras/ padrões;
36. Remover a água e os resíduos que possam permanecer nos copos de lavagem. Deixar o equipamento limpo de impurezas superficiais.

6 Controlo de Qualidade

Para testar a precisão do método, efetuar a leitura de padrões conforme o plano de controlo de qualidade *DOP-LAB-EQ015* . Os valores obtidos deverão ser registados no Impresso *DOP-LAB-IP006*. Caso o valor obtido não respeite os critérios de aceitação definidos, deverão ser verificadas as condições de limpeza e funcionalidade do elétrodo, a estabilidade da solução padrão usada e a calibração deverá ser novamente realizada, antes de prosseguir com a medição de pH.

Devem ser efetuados ensaios de amostras em duplicado.

De acordo com indicações do fornecedor, para controlo do funcionamento do elétrodo de pH Thermo Orion, deverão ainda ser medidos os padrões de pH 4,01 e de pH 7,00 em unidades de mV conforme o plano de calibração e verificação do equipamento *DOP-LAB-EQ017* . Caso os valores obtidos não respeitem os critérios de aceitação definidos, deverá efetuar-se a limpeza do elétrodo e substituída a solução de enchimento, de acordo com os documentos *DOP-LAB-PU016/22*. A calibração deverá ser novamente realizada, antes de prosseguir com a medição de pH.

7 Resultados

7.1 Thermo Orion Star A111

O valor de pH é dado diretamente pelo equipamento em unidades da escala Sorensen. Poderá também ser indicado em mV ou RmV.

7.2 Skalar SP10$^{pH/Cond}$

O valor de pH é dado diretamente pelo equipamento em unidades da escala Sorensen. Poderá também ser indicado em mV.

8 Mensagens de Erro

8.1 Thermo Orion Star A111

Quando surgir um erro, consultar o manual do equipamento e o Procedimento de Utilização do equipamento *DOP-LAB-PU022*.

8.2 Skalar SP10$^{pH/Cond}$

Quando surgir um erro, consultar o manual do equipamento e o Procedimento de Utilização do equipamento *DOP-LAB-PU016*.

9 Bibliografia

Manual do medidor *Thermo Orion Star A111;*

Manual do elétrodo de pH *Thermo Orion 9157BNMD;*

Manual do medidor multiparamétrica *Orion Star Series meterThermo Orion;*

Manual do equipamento *SP10 Robotic Analyser Skalar;*

Manual do medidor *inoLab pH 730 WTW;*

Manual do elétrodo *Sentix 60 WTW;*

PHEC Application Skalar;

Fichas de segurança das soluções padrão de pH e para o funcionamento dos elétrodos;

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Method 4500–H$^+$ B, 21th edition.

10 Documentos Relacionados

Impressos *DOP-LAB-IP001/5/6*;

Esquemas de trabalho *DOP-LAB-EQ012/17/28/37*;

Procedimentos de utilização *DOP-LAB-PU016/22*.