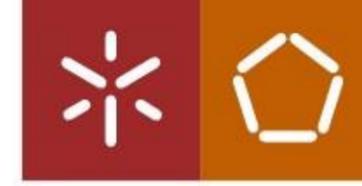




Avaliação de desempenho dos equipamentos de secagem de lama instalados na linha sólida da ETA: Centrífuga vs Filtro prensa

Ana Paula Ferreira Vieira

UMinho | 2021



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Ana Paula Ferreira Vieira

Avaliação de desempenho dos equipamentos de secagem de lama instalados na linha sólida da ETA: Centrífuga vs Filtro prensa

Dezembro 2021





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Ana Paula Ferreira Vieira

**Avaliação de desempenho dos equipamentos de  
secagem de lama instalados na linha sólida da  
ETA: Centrífuga vs Filtro prensa**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Biológica

Trabalho realizado sob a orientação de

**Professora Maria Olívia Baptista Oliveira Pereira**

# DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

*Licença concedida aos utilizadores deste trabalho*



**Atribuição-NãoComercial**  
**CC BY-NC**

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

Universidade do Minho, 29/12/2021

Ana Paula Ferreira Vieira

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar aqui os meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me acompanharam e apoiaram na realização desta dissertação.

À minha orientadora, Professora Maria Olívia Baptista Oliveira Pereira, por me ter aceite como discente e pela sua disponibilidade, apoio e orientação ao longo do trabalho.

À empresa Águas do Norte S.A. pela oportunidade da realização do estágio em ambiente empresarial.

À minha supervisora pela disponibilidade para corrigir e indicar melhorias e pela transmissão de conhecimentos.

A todas as pessoas que trabalham na empresa, em especial aos técnicos do laboratório de operação e de manutenção pelo constante apoio e esclarecimento de dúvidas.

A toda a minha família, principalmente aos meus pais e irmão, por sempre acreditarem em mim, pelo apoio e confiança prestados.

E aos meus colegas de curso e amigos pelos momentos de descontração e pelo apoio prestado ao longo do meu percurso académico, especialmente durante a escrita da dissertação.

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 28/12/2021

Ana Paula Ferreira Vieira

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DOS EQUIPAMENTOS DE SECAGEM DE LAMA INSTALADOS NA LINHA SÓLIDA DA ETA: CENTRÍFUGA VS FILTRO PRENSA

## RESUMO

Nas Estações de Tratamento de Água (ETA), as lamas geradas durante os processos de tratamento de água, são espessadas e desidratadas de modo a minimizar o seu volume, reduzindo custos de transporte e deposição no destino final.

Esta dissertação teve como objetivo a avaliação da eficiência de operação e rentabilidade económica dos equipamentos de desidratação da linha sólida instalados na ETA X, centrífuga e filtro prensa, de modo a otimizar os diversos parâmetros de funcionamento e avaliar o desempenho de secagem e os respetivos custos associados.

De modo a avaliar o desempenho do processo de desidratação procedeu-se à recolha de amostras de lama e/ou sobrenadante nas diferentes etapas da linha sólida, tendo-se monitorizado diversos parâmetros como concentração da lama, pH e turvação do sobrenadante, percentagem de matéria seca na lama desidratada, consumo de polieletrólito e consumo de lama.

Na desidratação de lama com o filtro prensa observou-se que em termos de percentagem de matéria seca na lama desidratada, o filtro prensa obteve percentagens mais baixas que as mencionadas na literatura. Em relação à turvação do sobrenadante, não foi possível obter conclusões muito eloquentes uma vez que os valores obtidos foram díspares.

Relativamente ao estudo desenvolvido para a comparação da eficiência da centrífuga e do filtro prensa, observou-se um desempenho semelhante nos resultados de percentagem de matéria seca na lama desidratada e turvação do sobrenadante.

No que diz respeito ao volume de lama alimentado aos dois equipamentos, no mesmo período de tempo, a centrífuga apresentou melhores resultados.

Quanto ao consumo de polieletrólito, energia e custos totais o filtro prensa apresentou vantagens em comparação com a centrífuga.

**Palavras-chave:** Centrífuga, Desidratação, Filtro Prensa, Lamas de ETA

# PERFORMANCE EVALUATION OF THE SLUDGE DRYING EQUIPMENT INSTALLED IN THE SOLID LINE OF THE WTP: CENTRIFUGE VS FILTER PRESS

## ABSTRACT

At the Water Treatment Plan (WTP), the sludge generated during water treatment is thickened and dewatered in order to minimize its volume, reducing transport and disposal costs at the final destination.

This dissertation aimed to evaluate the operating efficiency and economic profitability of solid line dewatering equipment installed in WTP X, centrifuge and filter press, in order to optimize the various operating parameters and evaluate the drying performance and respective costs associates.

To assess the performance of the dewatering process, samples of sludge and/or supernatant were collected at different stages of the solid line, monitoring various parameters such as sludge concentration, supernatant turbidity, percentage of dry matter in the dehydrated sludge, etc.

In the dewatering of sludge with the filter press, it was observed that in terms of percentage of dry matter in the dewatered sludge, the filter press got lower percentages than those mentioned in the literature. In the case of the turbidity of the supernatant, it was not possible to reach very eloquent conclusions because the values obtained were variable.

Regarding the study developed to compare the efficiency of the centrifuge and the filter press, a similar performance was observed in the results of dry matter percentage in the dewatered sludge and supernatant turbidity.

Respecting the volume of sludge fed to the two equipments, in the same period, the centrifuge showed better results.

Concerning to the consumption of polyelectrolyte, energy and total costs, the filter press showed advantages compared to the centrifuge.

**Keywords:** Centrifuge, Dewatering, Press Filter, WTP Sludge

# ÍNDICE

Direitos de Autor e condições de utilização do trabalho por terceiros .....	i
Agradecimentos .....	ii
Declaração de integridade .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract .....	v
Índice .....	vi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	viii
Lista de Figuras .....	xi
Lista de tabelas.....	xiv
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento e Motivação.....	1
1.2 Objetivos e Resultados Esperados .....	1
1.3 Apresentação da Águas do Norte, S.A. ....	2
1.4 Estrutura da dissertação .....	3
2 Enquadramento teórico .....	4
2.1 Caracterização das lamas produzidas em ETA.....	4
2.1.1 Definição de lamas.....	4
2.1.2 Origem das lamas .....	4
2.2 Processos de tratamento de água.....	5
2.2.1 Captação .....	5
2.2.2 Gradagem .....	6
2.2.3 Coagulação e Floculação .....	6
2.2.4 Decantação .....	6
2.2.5 Filtração .....	7
2.2.6 Oxidação e Desinfecção.....	8
2.2.7 Remineralização.....	10
2.2.8 Troca iónica.....	11
2.2.9 Adsorção em carvão ativado.....	11
2.3 Processos de tratamento das lamas .....	12
2.3.1 Espessamento.....	12
2.3.2 Equalização.....	14

2.3.3	Desidratação .....	14
3	Caraterização da ETA X.....	17
3.1	Descrição da Linha Líquida .....	17
3.2	Descrição da linha Sólida.....	20
4	Materiais e Métodos .....	23
4.1	Registo operacional e controlo analítico do Filtro prensa .....	23
4.2	Comparação da centrífuga e filtro prensa .....	25
4.2.1	Percentagem de matéria seca na lama desidratada e Turvação do sobrenadante.....	25
4.2.2	Volume de lama alimentado .....	25
4.2.3	Consumo de polieletrólito .....	26
4.2.4	Consumo de energia e Custos.....	26
5	Análise e discussão de resultados .....	31
5.1	Avaliação da desidratação por filtro prensa .....	31
5.1.1	Caudal médio de lama e caudal médio de polieletrólito.....	31
5.1.2	Concentração da lama da cisterna de equalização .....	32
5.1.3	Volume de lama alimentado por ciclo .....	33
5.1.4	Tempo de enchimento.....	35
5.1.5	Percentagem de matéria seca na lama desidratada .....	37
5.1.6	Turvação no sobrenadante .....	40
5.2	Comparação entre centrífuga e filtro prensa.....	43
5.2.1	Percentagem de matéria seca na lama desidratada .....	43
5.2.2	Turvação do sobrenadante .....	43
5.2.3	Volume de lama alimentado.....	44
5.2.4	Consumo de polieletrólito .....	45
5.2.5	Consumo de Energia .....	46
5.2.6	Custos .....	47
6	Conclusão e Trabalhos futuros.....	51
	Referências.....	53
	Anexo I Caraterísticas Técnicas dos equipamentos .....	56
	Anexo II Instruções de trabalho .....	59
	Anexo III Registo operacional e controlo analítico da linha sólida .....	75
	Anexo IV Estudo de energia.....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

$\%MS$	Percentagem de matéria seca na lama desidratada
AB	Água Bruta
AD	Água Decantada
AdNorte	Águas do Norte, S.A.
AF	Água Filtrada
AT	Água Tratada
$c_A$	Custo de aluguer dos contentores
CAF	Cisterna de Água Filtrada
CAG	Carvão Ativado Granular
CAP	Carvão Ativado em Pó
$c_{AU}$	Custo unitário de aluguer de um contentor
$c_E$	Custo de energia
$c_{EU}$	Custo unitário de energia
$Ciclo_{dia}$	Número de ciclos do filtro prensa por dia
$Ciclo_{período}$	Número de ciclos do filtro prensa durante um período
$C_{Lama}$	Concentração da lama
$C_{Lama CE}$	Concentração da lama da cisterna de equalização
$CO_2$	Dióxido de Carbono
$Cont_{período}$	Número de contentores alugados durante um período
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
$CP$	Consumo de polieletrólito
$c_P$	Custo do polieletrólito
$CP_{FP ciclo}$	Consumo de polieletrólito do filtro prensa durante um ciclo
$C_{Poli}$	Concentração de polieletrólito
$c_{PU}$	Custo unitário do polieletrólito
CREPAC	Canal de Repartição de Caudal
$c_T$	Custo de transporte e deposição de lamas
$c_{TU}$	Custo unitário de transporte e deposição de lamas

- D* Número de dias de um período
- E* Energia
- EE01 Estação Elevatória 01
- EE02 Estação Elevatória 02
- EE1 Estação Elevatória 1
- ETA Estação de Tratamento de Águas
- ETAR Estação de Tratamento de Águas Residuais
- HOCl Ácido hipocloroso
- LER Lista Europeia de Resíduos
- M* Número de meses num período
- O<sub>2</sub> Oxigénio
- O<sub>3</sub> Ozono
- OCl<sup>-</sup> Ião hipoclorito
- P* Potência
- pH Potencial de Hidrogénio
- $\overline{Q}_{L_{Cent}}$  Caudal médio de lama alimentado à centrífuga
- $\overline{Q}_{L_{FP}}$  Caudal médio de lama alimentado ao filtro prensa
- $\overline{Q}_{P_{FP}}$  Caudal médio de polieletrólito alimentado ao filtro prensa
- RAB Reservatórios de Água Bruta
- RAT Reservatório de Água Tratada
- t* Tempo total
- TCC Tanque de Contacto com Cloro

$t_{\text{Cent dia}}$  Tempo de funcionamento da centrífuga num dia  
 $t_{\text{ciclo}}$  Tempo total de um ciclo do filtro prensa  
 $t_{\text{dia}}$  Tempo de funcionamento do filtro prensa por dia  
 $t_e$  Tempo de enchimento por ciclo  
 $t_{\text{período}}$  Tempo de funcionamento do filtro prensa por período  
 $t_s$  Tempo de secagem  
 $T$  Taxa de tratamento de polieletrólito

UV Ultravioleta

$V_{L_{\text{Cent ciclo}}}$  Volume de lama alimentado à centrífuga por ciclo do filtro prensa  
 $V_{L_{\text{Cent dia}}}$  Volume de lama alimentado à centrífuga num dia  
 $V_{L_{\text{Cent período}}}$  Volume de lama alimentado à centrífuga durante um período  
 $V_{L_{\text{FP ciclo}}}$  Volume de lama alimentada ao filtro prensa por ciclo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logótipo da empresa Águas do Norte, S.A [10].....	2
Figura 2. Esquema geral de funcionamento de uma ETA.....	4
Figura 3. Formação de ozono ( $O_3$ ) a partir de moléculas de oxigénio ( $O_2$ ) [24].....	10
Figura 4. Estação Elevatória 01 (EE01).....	17
Figura 5. Torre de contacto com ozono.....	17
Figura 6. Adição de leite de cal. ....	18
Figura 7. Tanque de contato com dióxido de carbono.....	18
Figura 8. Câmara de mistura rápida. ....	18
Figura 9. Decantador: a) em funcionamento; b) vazio para limpeza.....	19
Figura 10. Filtro rápido de areia.....	19
Figura 11. Cisterna de água de lavagem dos filtros.....	20
Figura 12. Estação Elevatória de lamas. ....	20
Figura 13. Espessador: a) vazio/parado; b) em funcionamento. ....	21
Figura 14. Conjunto de preparação de polieletrólito. ....	21
Figura 15. Centrífuga <i>ALFA LAVAL NX4555</i> .....	22
Figura 16. Filtro Prensa <i>DIEMME Automat</i> .....	22
Figura 17. Placa do filtro prensa sem a tela filtrante. ....	22
Figura 18. Variação do caudal médio de lama ( $Q_{LFP}$ ) ao longo dos ciclos do filtro prensa.....	32
Figura 19. Variação do caudal médio de polieletrólito ( $Q_{PE}$ ) ao longo dos ciclos.....	32
Figura 20. Variação da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) ao longo dos ciclos.....	33
Figura 21. Variação do volume máximo de lama alimentado ao filtro prensa ( $V_{LFP}$ ) ao longo dos ciclos. .....	34
Figura 22. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{LFP}$ ) no volume de lama alimentado por ciclo ( $V_{LFP}$ ). ....	35
Figura 23. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) no volume de lama alimentado por ciclo ( $V_{LFP}$ ).....	35
Figura 24. Variação do tempo de enchimento ( $te$ ) ao longo dos ciclos.....	36
Figura 25. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{LFP}$ ) no tempo de enchimento ( $te$ ). ....	36
Figura 26. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) no tempo de enchimento ( $te$ ).....	37
Figura 27. Variação da percentagem de matéria seca na lama desidratada (%MS) ao longo dos ciclos. .....	38

Figura 28. Efeito do tempo de secagem ( $t_s$ ) na percentagem de matéria seca (%MS): a) Caudal 2 m <sup>3</sup> /h; b) Caudal 2,5 m <sup>3</sup> /h; c) Caudal 3 m <sup>3</sup> /h.....	38
Figura 29. Efeito do caudal médio de lamas ( $QL_{FP}$ ) na percentagem de matéria seca (%MS).....	39
Figura 30. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama CE}$ ) na percentagem de matéria seca (%MS). .....	40
Figura 31. Variação da turvação do sobrenadante ao longo dos ciclos.....	41
Figura 32. Variação da turvação do sobrenadante ao longo do tempo de enchimento ( $t_e$ ) de cada um dos ciclos: a) Caudal 2 m <sup>3</sup> /h; b) Caudal 2,5 m <sup>3</sup> /h; c) Caudal 3 m <sup>3</sup> /h.....	41
Figura 33. Efeito do caudal médio de lamas ( $QL_{FP}$ ) na turvação. ....	42
Figura 34. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama CE}$ ) na turvação.....	42
Figura 35. Comparação da percentagem de matéria seca (%MS) entre a centrífuga e o filtro prensa. .	43
Figura 36. Comparação da Turvação entre a centrífuga e o filtro prensa. ....	44
Figura 37. Comparação da Turvação entre a centrífuga e o filtro prensa (do ciclo 18 até ao 57).....	44
Figura 38. Comparação do volume de lama alimentado à centrífuga ( $VL_{Cent ciclo}$ ) e ao filtro prensa ( $VL_{Cent ciclo}$ ) durante o ciclo do filtro prensa.....	45
Figura 39. Comparação da taxa de tratamento ( $T$ ) do filtro prensa e da centrífuga. ....	46
Figura I. Contentores da lama desidratada da centrífuga. ....	63
Figura II. Recolha da lama desidratada da Centrífuga. ....	63
Figura III. Torneira de amostragem do sobrenadante da centrífuga. ....	63
Figura IV. Recolha do sobrenadante da Centrífuga.....	63
Figura V. Recolha do sobrenadante do Filtro Prensa. ....	64
Figura VI. Recolha de amostra da lama desidratada do Filtro Prensa: a) e b) Recolha de amostra diretamente da placa; c) Amostra de lama desidratada. ....	64
Figura VII. Procedimento da análise da concentração de lama: a) e b) Ligar a balança; c) Colocar o prato e fazer a tara; d) Colocar a amostra de lama; e) Fechar a balança; f) Resultado.....	65
Figura VIII. Procedimento da análise da percentagem de matéria seca na lama desidratada: a) e b) Ligar a balança; c) Colocar o prato e fazer a tara; d) Colocar a amostra de lama desidratada; e) Fechar a balança; f) Resultado. ....	67
Figura IX. Procedimento da medição da turvação do sobrenadante: a) Verter a amostra para a cuvette de leitura; b) Ligar o turbidímetro; c) e d) Introduzir a cuvette no interior da câmara de leitura, fechando a respetiva tampa; e) Pressionar a tecla LER; f) Resultado. ....	68

Figura X. Procedimento da medição do pH do sobrenadante: a) Colocar a sonda dentro do frasco da amostra; b) Ler o valor do pH; c) Resultado.....	68
Figura XI. Quadro do filtro prensa. ....	69
Figura XII. Comutador 1, 2 e 3 na posição 1. ....	69
Figura XIII. Caudal de lama do filtro prensa. ....	70
Figura XIV. Caudal de polieletrólito do filtro prensa. ....	70
Figura XV. Potenciômetro da bomba de lamas e da bomba de polieletrólito do filtro prensa.....	70
Figura XVI. Manómetro da pressão da bomba de lamas. ....	71
Figura XVII. Comutador 2 na posição 0.....	71
Figura XVIII. Consola da centrífuga.....	73
Figura XIX. Potenciômetros da bomba de lamas das centrífugas. ....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos métodos de espessamento [6–8] .....	13
Tabela 2. Vantagens e desvantagens dos métodos de desidratação [6–8] .....	16
Tabela 3. Identificação dos locais de amostragem e parâmetros analíticos monitorizados .....	23
Tabela 4. Custos unitários de operação .....	29
Tabela 5. Relatório da linha de lamas (22/09/2021) .....	46
Tabela 6. Resumo dos dados do consumo de energia, relativos ao ano 2020 .....	47
Tabela 7. Resumo do estudo de energia .....	47
Tabela 8. Custos de manutenção da centrífuga e do filtro prensa (média trimestral e média anual) ...	48
Tabela 9. Custos de operação da centrífuga e filtro prensa: polieletrólito, aluguer de contentor, transporte e deposição de lama, relativos ao ano 2020 .....	49
Tabela 10. Custo total de operação da centrífuga e do filtro prensa, relativos ao ano 2020 .....	49
Tabela 11. Custos correntes da centrífuga e do filtro prensa, relativos ao ano 2020 .....	49
Tabela 12. Resumo dos custos totais com a centrífuga e o filtro prensa, relativos ao ano 2020 .....	50
Tabela I. Caraterísticas Técnicas do Filtro Prensa <i>DIEMME</i> Automat [33] .....	56
Tabela II. Caraterísticas Técnicas da Centrífuga <i>ALFA LAVAL</i> NX 4555 [34] .....	57
Tabela III. Caraterísticas Técnicas da balança de humidade <i>Sartorius</i> MA35 [35] .....	58
Tabela IV. Caraterísticas Técnicas do turbidímetro <i>Hach</i> 2100Q [36] .....	58
Tabela V. Caraterísticas Técnicas do medidor de pH <i>METTLER TOLEDO SevenGo</i> [37] .....	58
Tabela VI. Procedimento de amostragem de lama de cal .....	59
Tabela VII. Procedimento de amostragem de lama decantada .....	60
Tabela VIII. Procedimento de amostragem de sobrenadante do espessador .....	60
Tabela IX. Monitorização da altura de sobrenadante do espessador .....	61
Tabela X. Procedimento de amostragem de lama da cisterna de equalização .....	62
Tabela VIII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga) .....	75
Tabela IX. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (Desidratação com filtro prensa) – Exemplo do ciclo 56 do dia 30 de setembro de 2021 .....	80
Tabela X. Registo operacional e controlo analítico dos ensaios realizados com o filtro prensa .....	81
Tabela XI. Dados referentes ao estudo de energia da centrífuga e do filtro prensa .....	85

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o enquadramento e motivação para a realização da dissertação de mestrado, os objetivos propostos para a concretização da mesma e, ainda, uma apresentação sobre a empresa onde foi realizado o trabalho de dissertação.

## 1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Nas Estações de Tratamento de Água (ETA) ocorre o tratamento da água captada numa fonte de abastecimento (como rios e lagoas), para depois ser encaminhada para a casa das pessoas com a qualidade necessária para o consumo humano. O processo de tratamento compreende, de uma forma geral, duas linhas [1]:

- Linha líquida constituída pelas operações do processo de tratamento de água (tais como gradagem, decantação, filtração e desinfecção);
- Linha Sólida composta pelas operações do processo de tratamento das lamas produzidas na linha líquida (tais como espessamento e desidratação das lamas).

As lamas geradas na ETA X são provenientes de purgas dos decantadores e de saturadores de água de cal. São espessadas e desidratadas, e por fim, transportadas para um destino final autorizado. A água retirada na etapa de secagem é reintroduzida no início do processo de tratamento de água [2,3].

Para minimizar o volume de lamas produzidas e, assim, reduzir os custos associados ao seu transporte e deposição, é fundamental implementar planos de gestão que avaliem a eficiência das tecnologias utilizadas para secar as lamas [2,4].

## 1.2 OBJETIVOS E RESULTADOS ESPERADOS

O principal objetivo desta dissertação foi fazer a avaliação do desempenho dos equipamentos de secagem de lama disponíveis na linha sólida da ETA X, nomeadamente da centrífuga e do filtro prensa.

Na desidratação com recurso à centrífuga era esperado obter valores de matéria seca na lama desidratada na gama de 10 a 35 %. A percentagem de matéria seca obtida depende das características da lama, da quantidade de polieletrólito doseado e das características do equipamento [5–8].

Em relação à desidratação com o uso do filtro prensa era expectável obter-se valores de matéria seca na lama desidratada entre 30 e 50 %, com uma maior concentração de sólidos do que na centrífuga. Desta forma, com o filtro prensa era esperado uma maior redução de custos de armazenamento e transporte de lama para o destino final apropriado [6–8].

Com esta dissertação pretendeu-se realizar uma avaliação da eficiência de operação e rentabilidade económica dos dois tipos de equipamentos de desidratação instalados na ETA, de modo a otimizar os diversos parâmetros de funcionamento (com a elaboração de uma instrução de trabalho) e avaliar o desempenho de secagem e os respetivos custos associados (manutenção, energia, reagentes, entre outros) [9].

### 1.3 APRESENTAÇÃO DA ÁGUAS DO NORTE, S.A.

A Águas do Norte, S.A. (AdNorte), com o logótipo representado na Figura 1, foi constituída pelo Decreto-Lei n.º 93/2015, de 29 de maio (através da agregação das empresas Águas do Douro e Paiva, S.A., Águas do Noroeste, S.A., Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro, S.A. e SIMDOURO – Saneamento do Grande Porto, S.A., integradas no Grupo Águas de Portugal) e pelo Decreto-Lei n.º 16/2017, de 1 de fevereiro (onde foi criado o sistema multimunicipal de abastecimento de água do sul do Grande Porto e o sistema multimunicipal de saneamento do Grande Porto, ambos pela cisão das respetivas entidades gestoras, Águas do Douro e Paiva, S.A. e SIMDOURO - Saneamento do Grande Porto, S.A.) [10].



Figura 1. Logótipo da empresa Águas do Norte, S.A [10].

A AdNorte é a entidade gestora do sistema multimunicipal em “alta”, responsável pela captação, tratamento e abastecimento de água para consumo público, e pela recolha, tratamento e rejeição de efluentes domésticos, urbanos e industriais, assim como de efluentes provenientes de fossas sépticas [10].

A AdNorte assume também a exploração e gestão do sistema de águas da região do Noroeste, em resultado de uma Parceria entre o Estado e 8 Municípios, que concretiza um processo de verticalização que reuniu, numa única entidade gestora, os serviços de abastecimento de água e de saneamento de águas residuais em “alta” (prestados aos Municípios) e em “baixa” (prestados aos utilizadores finais, os munícipes), de forma regular, contínua e eficiente [10].

A Águas do Norte é responsável por diversas Estações de Tratamento de Água, Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) e barragens.

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

- No Capítulo 1 faz-se uma breve contextualização, descrição de motivações e objetivos desta dissertação e apresenta-se, também, uma breve descrição sobre a empresa onde decorreu o trabalho de dissertação;
- No Capítulo 2 encontra-se a revisão bibliográfica necessária para enquadramento da dissertação. Abrange uma caracterização geral das lamas de ETA e os principais processos de tratamento da linha líquida e da linha sólida duma ETA;
- No Capítulo 3 caracteriza-se a ETA X, descrevendo os processos de tratamento da linha líquida e da linha sólida;
- No Capítulo 4 são descritos todos os procedimentos associados à linha sólida, incluindo os procedimentos de monitorização do processo e análises laboratoriais, assim como os procedimentos de funcionamento do filtro prensa e centrífuga;
- No Capítulo 5 faz-se a análise e discussão dos resultados;
- No Capítulo 6 apresentam-se as conclusões desta dissertação e os possíveis trabalhos futuros.

## 2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os assuntos mais relevantes para o enquadramento do tema em estudo, estando estruturado em 3 tópicos: Caracterização das lamas produzidas em ETA, Processo de tratamento da água e Processo de tratamento das lamas.

### 2.1 CARATERIZAÇÃO DAS LAMAS PRODUZIDAS EM ETA

#### 2.1.1 DEFINIÇÃO DE LAMAS

Segundo o Aviso n.º 997/2020, de 20 de janeiro, “lama” define-se como uma “mistura de água com partículas sólidas, separadas dos diversos tipos de água por processos naturais ou artificiais” [11].

São consideradas lamas produzidas em ETA todos os resíduos produzidos durante os processos de tratamento da água e são, geralmente, consideradas resíduos não perigosos, encontrando-se classificados no subcapítulo 19 09 do código da Lista Europeia de Resíduos (LER) – “Resíduos do tratamento de água para o consumo humano ou de água para consumo industrial” [15,16].

#### 2.1.2 ORIGEM DAS LAMAS

No diagrama de blocos (Figura 2) estão representadas as etapas de tratamento mais comuns de uma ETA, com a linha líquida identificada a azul e a linha sólida a castanho.

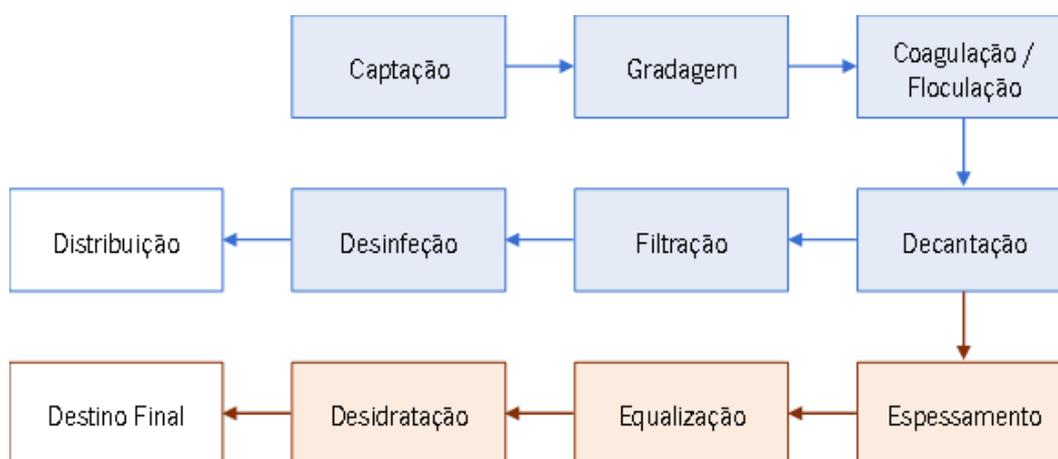


Figura 2. Esquema geral de funcionamento de uma ETA.

A linha sólida numa ETA consiste no processo de tratamento das lamas produzidas em algumas etapas do processo de tratamento de água. Existem dois tipos de lama: a lama gerada nos decantadores e a lama gerada na lavagem dos filtros, sendo a maior quantidade gerada na decantação. As lamas decantadas, por sua vez, resultam de processos e operações de coagulação/floculação e sedimentação

das partículas presentes na água bruta. Como resultado, a lama de ETA é constituída por partículas do solo, matéria orgânica e inorgânica, subprodutos gerados na adição de produtos químicos, microrganismos e água [17–19].

## 2.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Numa ETA, a água de fontes de abastecimento, como rios e lagoas, é captada e recebe o tratamento necessário para, de seguida, ser distribuída pela população com os parâmetros de qualidade necessários para o consumo humano. Os processos para o tratamento de água são selecionados conforme as características da água bruta (AB) captada e os fatores económicos da empresa [7].

Os tipos de processos mais utilizados no tratamento de água são, de seguida, sumariamente descritos.

### 2.2.1 CAPTAÇÃO

Os sistemas de captação incluem as instalações necessárias para captar e transportar a água, da fonte de abastecimento para um reservatório ou diretamente para a estação de bombeamento. O sistema deve ser projetado para funcionar ininterruptamente em qualquer altura do ano, garantir uma quantidade adequada de AB com a melhor qualidade possível e ter fácil acesso para a operação e manutenção [7,20].

As instalações necessárias no sistema de captação variam com múltiplos fatores, entre os quais as características da AB, as condições climáticas do local, as fontes de poluição, as variações do nível da água, a carga de sedimentos e as considerações económicas [7].

A fonte de abastecimento pode ser classificada como [20,21]:

- Superficial – Recolhida em rios, lagoas e barragens. A água superficial é acessível e fácil de extrair, por essa razão é a fonte mais utilizada para consumo humano. A recolha é efetuada por gravidade ou bombeamento, no segundo caso é necessário projetar uma estação elevatória.
- Subterrânea – Recolhida em poços e lençóis freáticos. A água subterrânea flui lentamente entre os poros, fendas e fissuras de formações geológicas, tornando a sua extração mais difícil. Entre as vantagens, destaca-se a facilidade de posicionar a captação próximo do local de distribuição e a qualidade satisfatória da água, não necessitando de um tratamento tão amplo como a água de uma fonte superficial.

Os sistemas de captação são difíceis de expandir de modo a aumentar a sua capacidade, portanto a realização de um estudo da necessidade de água na população, em 20 a 40 anos no futuro, torna-se indispensável. Da mesma forma é fundamental analisar a localização ideal para a captação [7,20].

### **2.2.2 GRADAGEM**

Na gradagem, a água é forçada a passar por grades. As grades, constituídas por barras paralelas, são destinadas a impedir a passagem de material sólido de maior dimensão, flutuante ou em suspensão, como folhas, ramos, embalagens ou outros materiais capazes de entupir as condutas, bombas ou instalações a jusante [1,7,20].

### **2.2.3 COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO**

A coagulação e a floculação podem ser definidas como processos físicos e químicos, onde são adicionados produtos químicos na água agitada com o objetivo de formar partículas com tamanho e peso suficiente para serem removidas nos processos de sedimentação ou filtração [7].

A coagulação é o processo onde se adiciona um coagulante na água desestabilizando as cargas das partículas coloidais facilitando, de seguida, a sua aglomeração. A operação de coagulação deve ter uma agitação rápida e intensa garantindo uma mistura homogénea, já que o coagulante começa a hidrolisar e formar compostos numa pequena fração de segundos após ser adicionado na água [5,7,22].

A floculação é o processo de aglomeração de pequenas partículas presentes na água e partículas destabilizadas na coagulação. É um processo físico com uma agitação lenta permitindo às partículas mais tempo de contacto. A floculação caracteriza-se como uma fase de transporte de partículas fazendo-as colidirem entre elas, resultando flocos com dimensões maiores que as partículas individuais, facilitando a sua remoção nos processos seguintes. São adicionados polieletrólitos para aumentar a eficiência do processo [5,7,22].

### **2.2.4 DECANTAÇÃO**

A decantação tem como objetivo maximizar a remoção de sólidos presentes na água, como areias e flocos formados durante a coagulação/floculação. Nos decantadores os sólidos sedimentam por ação da gravidade, reduzindo a sua carga nos processos de tratamento subsequentes. A água clarificada é recolhida à superfície para caleiras e os sólidos, depositados no fundo do decantador, são removidos sob a forma de lama [5,7,23].

A lama pode ser removida manual ou mecanicamente. Os tanques com remoção manual necessitam de um reservatório com tamanho suficiente para armazenar a lama por um período de tempo razoável e podem ser incluídas válvulas para remover a lama com frequência, reduzindo as vezes de paragem para limpeza completa. Os tanques com remoção mecânica são equipados com sistemas que arrastam a lama ao longo da base do tanque para tremonhas e sistemas que dependem de ação hidráulica ou sifão para retirar os sólidos [7,24].

### **2.2.5 FILTRAÇÃO**

A filtração é a passagem de água por um material poroso, removendo sólidos suspensos e flocos de menores dimensões ainda presentes na água, assim como matéria coloidal, lodo, larvas de insetos, microrganismos, entre outros. No fim desta etapa espera-se que os parâmetros cor e turbidez da água filtrada (AF) já se encontrem dentro dos padrões de potabilidade [7,22,23].

Embora a desinfecção seja a principal defesa contra doenças transmitidas pela água, a filtração também assume uma barreira importante, reduzindo a carga no processo de desinfecção, aumentando a sua eficiência e removendo precursores para formação de subprodutos [7,21].

Os filtros mais utilizados são o Filtro rápido e o Filtro lento, cujo funcionamento é apresentado resumidamente de seguida [22].

#### **Filtro rápido**

O filtro rápido é formado, nomeadamente, por uma camada de areia ou por duas camadas, uma de areia e outra de um meio poroso mais grosso e menos denso, como o carvão antracite ou carvão ativado granular (CAG), permitindo maiores taxas de filtração [16].

Nos filtros rápidos, a remoção dos sólidos acontece em duas etapas. Inicialmente as partículas são movidas para a superfície dos grãos do material escolhido ou dos flocos já capturados, através de forças hidrodinâmicas. De seguida as partículas são fixadas na superfície dos grãos ou dos flocos, com a ação de forças moleculares e eletrocinéticas [7].

Com o uso, o filtro rápido vai melhorando a sua capacidade de remoção de partículas, uma vez que quanto maior a quantidade de sólidos capturados no filtro, menor a porosidade deste. No entanto, a perda de carga aumenta e, antes que chegue a um nível inaceitável de turbidez, é necessário se proceder à lavagem do filtro [7].

### **Filtro lento**

Como o nome indica, a filtração lenta é conseguida através da passagem de água, a uma velocidade relativamente baixa, num meio filtrante. A taxa de filtração é cerca de um centésimo da taxa típica de um filtro rápido. Como a taxa de filtração é muito mais baixa, a perda de carga é menor que no filtro rápido, no entanto requer maiores áreas para tratar o mesmo volume de água [7,19].

Esta filtração imita o processo de purificação natural, onde a água atravessa extratos da crosta terrestre e forma as fontes de água subterrânea [16].

Durante a operação inicial a separação de matéria orgânica e outros sólidos resulta numa camada de matéria biológica na superfície do meio filtrante. Esta camada, depois de estabelecida, é o mecanismo de filtração predominante. A água é forçada a passar pela camada para de seguida passar o material filtrante. Neste processo, que demora várias horas, desenvolvem-se diversos mecanismos físicos e biológicos que constituem o processo de purificação da água [7,19].

#### **2.2.5.1 FILTRAÇÃO COM MEMBRANA**

Os filtros convencionais por vezes não conseguem reter todos os microrganismos presentes na água. De forma a impossibilitar a sua passagem na água filtrada existem os processos de filtração com membranas, que contribuem para uma filtração absoluta, cooperando para o processo de desinfeção [16].

Os processos de membrana podem ser classificados através da força motriz usada: pressão, tensão elétrica, temperatura e gradiente de concentração. No tratamento de água, as membranas que utilizam a pressão como força motriz para a separação são as mais utilizadas [7,19].

Dentro dos processos de membranas acionados por pressão existe a osmose reversa, a nanofiltração, a ultrafiltração e a microfiltração. Cada processo tem uma aplicação na qual é mais eficaz. A osmose reversa é aplicada na dessalinização, na remoção de químicos orgânicos e inorgânicos e de matéria orgânica natural. A microfiltração e a ultrafiltração são processos de baixas pressões que removem mais eficientemente partículas e microrganismos. São também utilizadas para remover compostos orgânicos e químicos inorgânicos. A nanofiltração remove iões de cálcio e magnésio, promovendo a redução da dureza da água, e remove também compostos orgânicos dissolvidos [7,19].

### **2.2.6 OXIDAÇÃO E DESINFEÇÃO**

A água para consumo humano precisa estar isenta de microrganismos patogénicos causadores de doenças. A desinfeção tem como objetivo a destruição ou inativação dos organismos patogénicos

(bactérias, vírus e parasitas) e evitar o desenvolvimento de biofilmes na rede de distribuição. Os oxidantes, para além da desinfecção, podem ter outras aplicações, como na diminuição de gostos e odores desagradáveis, na remoção de cor, ferro e manganês e na oxidação de produtos químicos orgânicos [7,23].

Os agentes de desinfecção e oxidação regularmente utilizados no tratamento de água são o cloro, o ozono e a radiação ultravioleta (UV) [7, 24].

#### 2.2.6.1 CLORO

O cloro é o desinfetante mais conhecido e o mais utilizado. Na água age de duas formas: como desinfetante, destruindo ou inativando os microrganismos patogénicos, algas e bactérias, e como oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água [16].

O cloro dissolve-se na água e rapidamente forma ácido hipocloroso (HOCl) que então se dissocia em ião hipoclorito (OCl). As duas formas são desinfetantes, porém o ácido tem maior poder bactericida e, por isso, é o principal responsável pela desinfecção da água [7].

Quando se adiciona cloro na água, parte reage com impurezas da água e parte mantém-se na água como cloro residual, garantindo a qualidade da água no sistema adutor/rede de distribuição [7,26].

O cloro encontra-se disponível principalmente sob a forma de líquido comprimido, mas também pode ser fornecido como um hipoclorito à disposição na forma de líquido a granel ou gerado no local [7].

#### 2.2.6.2 OZONO

O ozono é um forte oxidante, capaz de oxidar compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água. Assim que o ozono entra na solução, ele segue dois modos de reação: oxidação direta (é bastante lenta e extremamente seletiva); e autodecomposição em radical hidroxilo (é rápido e não seletivo na oxidação de compostos orgânicos, no entanto é eliminado por iões de carbonato e bicarbonato, para formar radicais de carbonato e bicarbonato) [7,19].

O ozono decompõe-se espontaneamente em pequenos intervalos de tempo, portanto deve ser produzido no local por descarga elétrica no ar seco ou em oxigénio puro. As moléculas de oxigénio ao passar na descarga elétrica dissociam-se e produzem radicais livres reativos, que ao reagir com outras moléculas de oxigénio formam o ozono. O processo encontra-se representado na Figura 3 [7,19,27].

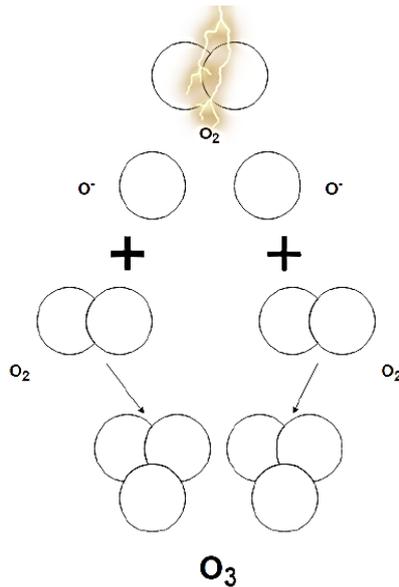


Figura 3. Formação de ozono ( $O_3$ ) a partir de moléculas de oxigénio ( $O_2$ ) [24].

### 2.2.6.3 RADIAÇÃO UV

A radiação UV está presente no espectro eletromagnético entre os Raios X e a Radiação Visível. Esta radiação penetra no corpo dos microrganismos, danificando o seu código genético afetando a capacidade de reprodução e, conseqüentemente a capacidade de infeção [7,19].

A radiação UV é gerada no local por descarga elétrica. Quando um átomo recebe uma descarga elétrica, é ativado para uma orbital superior. É emitida uma luz quando volta para um estado de energia inferior. Se a diferença entre os níveis de energia for adequada, a luz emitida estará no espectro UV [7,19].

Embora muitos elementos possam ser usados para a produção da radiação, o mercúrio é o elemento mais usado em lâmpadas UV para desinfecção, porque emite luz no comprimento de onda UVC com efeito germicida. Além disso, é muito volátil, com temperaturas que podem ser praticamente atingidas pela atual tecnologia de lâmpadas. Além do mercúrio, as lâmpadas UV contêm um gás de enchimento, que promove a ativação da ionização do mercúrio. O gás de enchimento mais comum é o argon [7].

### 2.2.7 REMINERALIZAÇÃO

Em alguns locais, onde a água tem características agressivas que podem provocar a corrosão no sistema de abastecimento, é necessário atuar para se atingir o ponto de equilíbrio calco-carbónico, onde o potencial de hidrogénio (pH), o cálcio e a alcalinidade não variam, ou têm uma variação insignificante [29,30].

A remineralização ou recarbonatação tem por objetivos aumentar o pH e o teor de cálcio de modo a formar uma capa de proteção contra a corrosão nas condutas e outras estruturas, e promover a melhoria das características organoléticas da água [26].

Geralmente, a remineralização é feita com recurso a hidróxido de cálcio (cal) e um complemento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). A cal é alcalina e por isso promove um aumento do pH da água. O CO<sub>2</sub>, em meio aquoso, reage como um ácido fraco capaz de reagir com compostos alcalinos (como é o caso da cal) transformando-os em bicarbonatos neutros, proporcionando água com o pH desejado [26].

### **2.2.8 TROCA IÓNICA**

Os processos de troca iónica são utilizados, essencialmente, no tratamento de água com baixo teor em minerais para reduzir contaminantes iónicos. A principal aplicação deste processo é no amaciamento de água com a remoção dos iões de cálcio e magnésio [7].

A troca iónica, como o nome indica, é a troca de iões de uma fase para a outra. No tratamento de água esta troca acontece entre uma resina de troca iónica e a água. Desta forma a água fica livre dos iões indesejados que são removidos na resina [7].

### **2.2.9 ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO**

O carvão ativado é um material absorvente que fornece uma superfície onde os iões ou moléculas na fase líquida ou gasosa se concentram. Tem a particularidade de ser extremamente poroso, com uma ampla gama de tamanhos de poro, desde rachaduras e fendas visíveis até dimensões moleculares. As atrações intermoleculares nos poros mais pequenos criam forças de adsorção que fazem com que as moléculas, grandes e pequenas, de contaminantes sejam condensadas e precipitadas da solução para os poros em escala molecular. O carvão ativado é um absorvente eficiente porque fornece uma grande área de superfície onde os contaminantes ficam retidos. Está disponível em dois formatos: Carvão Ativado em Pó (CAP) e Carvão Ativado Granular (CAG) [7].

O carvão ativado é utilizado no tratamento de água para reduzir a cor, o sabor, os compostos orgânicos voláteis (COV) e os químicos orgânicos e inorgânicos e, ainda, para controlar os subprodutos que poderão se formar na desinfecção [7].

## 2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO DAS LAMAS

A lama gerada no processo de tratamento de água inclui sólidos suspensos removidos da água de origem e precipitados químicos criados nos processos de tratamento de água. O principal objetivo dos processos de tratamento da lama é reduzir a fração líquida a ser transportado com os sólidos [7].

De seguida, apresenta-se uma breve descrição das etapas de tratamento das lamas, assim como os processos mais utilizados nas diferentes etapas.

### 2.3.1 ESPESAMENTO

O espessamento é o primeiro passo para reduzir o teor de água na lama resultante do tratamento de água. A lama no final deste processo tem maior concentração de sólidos, menor teor de humidade e, conseqüentemente, menor volume de lamas. A redução do volume tem como vantagem a diminuição dos custos de operação nas etapas seguintes do tratamento, já que, por exemplo, não é necessário um tanque de equalização com uma capacidade tão grande, há redução da dosagem química necessária e os custos de bombeamento são menores [5–7].

Os processos de espessamento mais utilizados nas ETA são o espessamento gravítico e o espessamento mecânico recorrendo a equipamentos como mesas de espessamento e tambores rotativos [5,7].

#### 2.3.1.1 ESPESAMENTO GRAVÍTICO

O espessamento gravítico é a técnica de espessamento mais simples e mais utilizada. Geralmente, ocorre em tanques de sedimentação comuns de forma circular com uma ponte raspadora no fundo. A sedimentação de partículas acontece através da ação da gravidade, formando uma lama espessa na base do tanque, por onde é retirada. Por vezes é adicionado um polieletrólito de modo a aumentar o tamanho das partículas e facilitar a sedimentação. O sobrenadante é removido pelo topo e encaminhado ao início do processo de tratamento de água. Este processo possibilita o espessamento das lamas 2 a 8 vezes, elevando a concentração de sólidos de alguns gramas por litro para dezenas de gramas por litro [5–8].

#### 2.3.1.2 ESPESAMENTO MECÂNICO

##### a. Mesa de espessamento

A mesa de espessamento consiste numa tela horizontal que se move sobre rolos com uma velocidade variável. A lama é misturada com um polieletrólito para facilitar a aglomeração das partículas

e, de seguida, é distribuída em cima da tela filtrante. Conforme a tela se move, a água passa através dos poros da tela. No final da mesa a lama já espessada (com uma maior concentração de sólidos) é retirada da tela, com a ajuda de um raspador para um depósito [6–8].

b. **Tambor rotativo**

O tambor rotativo é composto por um conjunto de telas rotativas de forma cilíndrica colocadas horizontalmente e um sistema de condicionamento. Tem um funcionamento semelhante à mesa de espessamento realizando a separação sólido-líquido por coagulação e floculação dos sólidos [5,8].

A drenagem da água ocorre através de um meio poroso rotativo que pode ser um tambor de rede metálica, tela de aço inoxidável, tela de poliéster, entre outros. A lama é misturada com um floculante e é introduzida no interior do tambor. A água livre transita para a calha de coleta através dos orifícios do material filtrante e a lama espessada permanece no interior do tambor até que os parafusos a transportem para o exterior [5,8].

2.3.1.3 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

Na Tabela 1 encontram-se as principais vantagens e desvantagens de cada método de espessamento de lamas mencionado.

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos métodos de espessamento [6–8]

Método	Vantagens	Desvantagens
Espessamento gravítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mínima habilidade de operação necessária;</li> <li>-Baixos custos operacionais;</li> <li>-Baixo consumo de energia;</li> <li>-Ideal para pequenas ETA;</li> <li>-Ideal para lamas com rápida sedimentação;</li> <li>-Normalmente não necessita de polieletrólito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grande espaço necessário;</li> <li>-Potencial de odor;</li> <li>-Sólidos a flutuar.</li> </ul>
Mesa de espessamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta eficiência de captura de sólidos;</li> <li>-Custo de capital relativamente baixo;</li> <li>-Pequeno espaço necessário;</li> <li>-Consumo de energia relativamente baixo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requer condicionamento de polieletrólito;</li> <li>-Requisitos de manutenção;</li> <li>-Potencial de odor;</li> <li>-Requer grande quantidade de água para lavagem;</li> <li>-Requer atenção moderada do operador.</li> </ul>
Tambor rotativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pequeno espaço necessário;</li> <li>-Baixo consumo de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requer condicionamento de polieletrólito;</li> <li>-Requisitos de manutenção;</li> <li>-Potencial de odor;</li> <li>-Requer atenção moderada do operador.</li> </ul>

## 2.3.2 EQUALIZAÇÃO

A lama por vezes segue para uma cisterna na qual ocorre a sua equalização evitando variações de fluxo de lama, principalmente na etapa de desidratação, aumentando assim a eficiência do processo. No tanque de equalização a lama é armazenada para que o caudal, as suas características, e a quantidade de lama fiquem mais homogêneos. Deste modo, cria-se um equilíbrio entre as entradas contínuas de lama e o caudal descontínuo de saída desta, permitindo que o tratamento seguinte possa ocorrer em diferentes horários e com o caudal desejado [5,32].

## 2.3.3 DESIDRATAÇÃO

A etapa de desidratação é a última antes do transporte das lamas para um destino final adequado. Esta tem como objetivo extrair o máximo de água das lamas, de forma a diminuir os custos de transporte e facilitar o seu manuseamento [1,5,8].

A escolha do sistema de desidratação é determinada de acordo com as características da lama, o espaço disponível na ETA e o seu destino final. Os sistemas de desidratação podem classificar-se como naturais e mecânicos. Os processos naturais incluem evaporação e percolação em leitos de secagem, e são utilizados em pequenas instalações sem limitação de espaço. Nos processos mecânicos são empregues meios físicos com uso de energia externa como centrífugas, filtros prensa e filtros banda, para uma desidratação mais rápida, sendo normalmente empregues em instalações de grande porte e com espaço limitado [5,8].

De seguida, apresentam-se, de forma resumida, os diferentes processos de desidratação mais comuns.

### 2.3.3.1 LEITO DE SECAGEM

No leito de secagem ocorre a evaporação natural da água. A lama é distribuída na superfície de um leito de areia e cascalho e seca através da radiação solar, sendo a água drenada, através do leito, para reutilização no processo ou encaminhada para o início do processo de tratamento de água. Dependendo da duração da secagem e das condições meteorológicas, este método permite obter um teor de matéria seca na gama de 40 % a 50 % [5,6,8].

### 2.3.3.2 FILTRO BANDA

O filtro banda é um sistema de desidratação de lamas baseado em princípios do condicionamento químico, drenagem gravítica e aplicação de baixa e alta pressão mecânica [5,6,8].

A lama, após ser misturada com um polieletrólito, é alimentada continuamente numa zona de drenagem por gravidade, onde o sobrenadante é escoado através dos poros. Posteriormente a lama é comprimida entre duas bandas, num processo de baixa pressão. De seguida, as bandas, com os sólidos comprimidos entre elas, passam por rolos que aplicam pressão a uma taxa gradual de modo a expelir toda a água livre. No fim a lama é retirada da esteira por raspadores e as bandas são lavadas para remover todos os sólidos. O sobrenadante e a água de lavagem são encaminhados para o início do tratamento de água. O filtro banda permite obter valores de matéria seca entre 10 % e 20 % [5,6,8].

#### 2.3.3.3 CENTRÍFUGA

A centrífuga é um dispositivo de separação sólido líquido através de sedimentação reforçada pela ação da força centrífuga, que é 500 a 3000 vezes superior à força da gravidade [5,8].

A lama, misturada com um polieletrólito, é alimentada continuamente num tambor cilíndrico, composto por um corpo e um parafuso transportador. Estes giram a uma velocidade elevada (com o parafuso a girar ligeiramente mais rápido que o corpo) fazendo com que os sólidos se concentrem nas paredes internas do tambor para de seguida serem transportados pelo parafuso para a extremidade cónica do corpo da centrífuga. A fração líquida sai da centrífuga pela extremidade oposta e pode ser introduzida no início do processo de tratamento de água. As centrífugas têm um elevado rendimento, produzindo aumentos na matéria seca na gama de 10 % a 35 % [5,6,8].

#### 2.3.3.4 FILTROS PRENSA

O filtro prensa consiste em várias placas verticais revestidas por telas filtrantes, em que a desidratação funciona em modo descontínuo, por ciclos. Cada ciclo realizado é composto por três fases com a seguinte ordem: enchimento, secagem e abertura. Na fase de enchimento a lama é misturada com polieletrólito e, de seguida, injetada entre as diversas placas, forçando a fração líquida a passar através das telas, retendo a fração sólida. Quando o filtro está cheio, ocorre a fase de secagem onde o sobrenadante continua a atravessar a tela. Na fase de abertura, as placas são separadas e as “bolachas” formadas caem num contentor colocado por baixo do filtro [5,6,8,34].

A fase de secagem não necessita de vigilância, já as outras duas requerem atenção por parte de um operador. No enchimento, para controlar o caudal de lama e polieletrólito, e na descarga, para verificar se todas as bolachas caem no contentor [31].

Os filtros prensa são o sistema de desidratação que atinge maior nível de desidratação sendo possível alcançar valores entre 30 % a 50 % de matéria seca, obtendo-se uma lama desidratada com elevada concentração de sólidos [5,6,8].

### 2.3.3.1 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS

Na Tabela 2 encontram-se as principais vantagens e desvantagens de cada método de desidratação de lamas mencionado.

Tabela 2. Vantagens e desvantagens dos métodos de desidratação [6–8]

Método	Vantagens	Desvantagens
Leito de secagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Baixo custo de capital;</li> <li>-Baixo consumo de energia;</li> <li>-Baixo/nenhum consumo de polieletrólito;</li> <li>-Ideal para pequenas ETA;</li> <li>-Alta concentração de sólidos;</li> <li>-Fácil de operar, não requer atenção ou habilidade do operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requer grande área;</li> <li>-Requer consideração do efeito climático do local;</li> <li>-A remoção da lama desidratada é trabalhosa;</li> <li>-Potencial de odor.</li> </ul>
Filtro banda	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operação contínua;</li> <li>-Fácil de executar;</li> <li>-Custo de capital relativamente baixo;</li> <li>-Custo de operação relativamente baixo;</li> <li>-Consumo de energia relativamente baixo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requer doseamento de polieletrólito;</li> <li>-Sensível às características das lamas;</li> <li>-Requer grande quantidade de água para lavagem;</li> <li>-Requer atenção moderada do operador;</li> <li>-Potencial de odor.</li> </ul>
Centrífuga	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operação contínua;</li> <li>-Boa contenção de odores;</li> <li>-Fácil de executar;</li> <li>-Pequeno espaço necessário;</li> <li>-É possível automatizar;</li> <li>-Não requer atenção contínua do operador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elevado nível de ruído;</li> <li>-Alto custo de capital;</li> <li>-Alto consumo de energia;</li> <li>-Requer pessoal de manutenção qualificado;</li> <li>-Rápido desgaste;</li> <li>-Requer doseamento de polieletrólito.</li> </ul>
Filtro prensa	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta concentração de sólidos na “bolacha”;</li> <li>-Sobrenadante com baixo teor de sólidos;</li> <li>-É possível automatizar;</li> <li>-Podem ser adicionadas mais placas para aumentar a capacidade;</li> <li>-Baixo consumo de energia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Operação descontínua;</li> <li>-Baixa produtividade;</li> <li>-Custo elevado de capital;</li> <li>-Custo de mão de obra elevado;</li> <li>-Requer atenção moderada do operador;</li> <li>-Requer pessoal de manutenção qualificado;</li> <li>-Tela filtrante com curta vida útil;</li> <li>-Requer doseamento de polieletrólito.</li> </ul>

### 3 CARATERIZAÇÃO DA ETA X

Neste capítulo são descritos sumariamente os processos da linha líquida e da linha sólida da ETA X.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA LINHA LÍQUIDA

A captação da água bruta na ETA X é efetuada superficialmente numa albufeira do Rio Y pela Estação Elevatória 01 (EE01), apresentada na Figura 4.



Figura 4. Estação Elevatória 01 (EE01).

A água captada é elevada para os Reservatórios de Água Bruta (RAB). Estes dois reservatórios garantem uma alimentação contínua de AB para a ETA, na impossibilidade de captar água do rio devido a poluição, elevada quantidade de partículas suspensas, avarias, entre outras razões [23,35].

Dos RAB, a água é elevada para as linhas de tratamento de água através da Estação Elevatória 02 (EE02).

As linhas de tratamento iniciam nas torres de contacto com o ozono (Figura 5), onde se injeta  $O_3$  na água através de difusores com poros instalados na base das torres. Este processo proporciona uma melhor decantação de flocos e remove uma grande percentagem de matéria orgânica [20].



Figura 5. Torre de contacto com ozono.

Posteriormente, a água é submetida a uma remineralização para correção da agressividade, na qual se adiciona leite de cal (Figura 6) seguido de  $\text{CO}_2$  (Figura 7), para aumentar o pH e o teor de cálcio, formar uma capa de proteção contra a corrosão nas condutas e outras estruturas [20].



Figura 6. Adição de leite de cal.



Figura 7. Tanque de contato com dióxido de carbono.

Após a remineralização, a água segue para a câmara de mistura rápida (Figura 8), com adição de um coagulante, para destabilizar coloides e, por vezes, é também adicionado carvão ativado em pó (CAP). Este através de mecanismos de adsorção remove cheiro e sabor da água, elimina contaminantes, como pesticidas e reduz matéria orgânica [23,35].



Figura 8. Câmara de mistura rápida.

Seguidamente a água é conduzida para um canal de repartição de caudal (CREPAC) onde é adicionado um polieletrólito para facilitar a floculação, isto é, a agregação em flocos de pequenas partículas e coloides desestabilizados na coagulação [20].

A água segue para os decantadores (Figura 9), onde as partículas sólidas, como areias, matéria particulada e os flocos formados na coagulação/floculação, sedimentam por ação da gravidade. Os decantadores possuem na base coletores perfurados (visíveis na Figura 9 b) por onde passa a água e,

na parte superior, existem caleiras por onde a água decantada (AD) é recolhida e conduzida para os filtros de areia.

As lamas formadas neste processo são descarregadas pelo fundo do decantador para a estação elevatória de lamas [20].



Figura 9. Decantador: a) em funcionamento; b) vazio para limpeza.

Nos filtros rápidos de areia (Figura 10), removem-se as partículas em suspensão que eventualmente saiam dos decantadores. A água entra no filtro, atravessa uma camada de areia e passa pelos ralos no fundo do filtro em direção à cisterna de água filtrada (CAF) [20].



Figura 10. Filtro rápido de areia.

Periodicamente os filtros são lavados em contracorrente com ar e água (lavagem hidropneumática) para remover as partículas retidas no leito filtrante. A água utilizada na lavagem é conduzida para as cisternas de água de lavagem de filtros (Figura 11) para ser reintroduzida no processo de tratamento, na etapa de coagulação/floculação [20].

A Água Filtrada (AF) é encaminhada para a etapa de desinfecção nos tanques de contacto com cloro (TCC). Esta etapa poderá ser precedida de um processo de desinfecção por radiação UV, recentemente instalada na ETA.



Figura 11. Cisterna de água de lavagem dos filtros.

Nos TCC injeta-se uma solução de cloro na água com o intuito de destruir ou inativar organismos patogénicos (bactérias, vírus e parasitas) e evitar o desenvolvimento de biofilmes (bactérias e outros microrganismos). Este processo tem a vantagem de deixar cloro residual na água, mantendo o seu poder de desinfeção no sistema adutor [20].

A última etapa de tratamento consiste na injeção de água de cal para corrigir o pH da água tratada (AT).

A AT segue para os reservatórios de água tratada (RAT) de onde é elevada para um reservatório XX, pela estação elevatória 1 (EE1), para ser distribuída por toda a rede de abastecimento [23,35].

### 3.2 DESCRIÇÃO DA LINHA SÓLIDA

Na ETA X, a linha sólida é constituída por 3 etapas de tratamento: espessamento, equalização e desidratação.

As lamas resultantes do processo de decantação e dos saturadores de água de cal são encaminhadas para a estação elevatória de lamas (Figura 12), onde se misturam. De seguida são elevadas para um dos espessadores de lama.



Figura 12. Estação Elevatória de lamas.

No espessador (Figura 13) a lama aumenta a concentração de sólidos através de sedimentação por ação da gravidade. Um raspador conduz a lama para a tremonha ligada à cisterna de equalização de lamas. O sobrenadante é recolhido na superfície por transbordo sobre a caleira e encaminhado para o início do processo de tratamento de água, para os RAB.



Figura 13. Espessador: a) vazio/parado; b) em funcionamento.

A lama espessada é enviada para a cisterna de equalização até ser bombeada para um dos equipamentos de desidratação. A cisterna tem um agitador para misturar as lamas.

Para o processo de desidratação ser mais eficaz é adicionada uma solução de polieletrólito nas lamas. A solução de polieletrólito é preparada nos conjuntos de preparação de polieletrólito (Figura 14), constituídos por:

- Uma tremonha para dosagem do polieletrólito em pó, equipada com parafuso doseador;
- Um detetor de nível baixo na tremonha;
- Uma cuba de preparação da solução, equipada com electroagitador;
- Uma cuba de armazenamento destinada a alimentar as bombas de polieletrólito.



Figura 14. Conjunto de preparação de polieletrólito.

Na etapa de desidratação, a ETA X encontra-se equipada com 2 centrífugas *ALFA LAVAL NX 4555* (Figura 15) e, recentemente, com um filtro prensa *DIEMME Automat* (Figura 16).



Figura 15. Centrifuga *ALFA LAVAL NX 4555*.



Figura 16. Filtro Prensa *DIEMME Automat*.

Dependendo do volume de lama que é necessário desidratar, podem trabalhar 1, 2 ou 3 equipamentos em simultâneo.

A lama equalizada que sai da cisterna de equalização é misturada com polieletrólito injetado em picagens na tubagem de alimentação das centrifugas e do filtro prensa.

A centrifuga desidrata em modo contínuo com separação sólido-líquido através da ação da força centrífuga. A lama é alimentada no tambor, a fração sólida concentra-se nas paredes internas e é arrastada por um parafuso sem fim, em direção à extremidade cônica para o exterior. O sobrenadante é encaminhado em direção aos orifícios de evacuação e é direcionado para os RAB [5,6,8].

O filtro prensa desidrata em modo descontínuo, por ciclos, através da compressão da lama no interior de placas revestidas por telas filtrantes. A lama é injetada no interior de placas fechadas até que atinja a pressão máxima. A fração líquida é forçada a atravessar a tela filtrante e é encaminhada para os RAB. A lama desidratada sai em “bolachas” quando se abre as placas [5,6,8].

Cada placa (Figura 17) do filtro prensa é rígida, tendo faces encavadas que garantem a existência de um espaço vazio denominado “câmara”, quando se aproxima uma placa à outra. As placas têm uma série de furos que possibilitam a passagem da lama e do sobrenadante. A superfície das câmaras é enrugada permitindo que o sobrenadante escorra através da tela filtrante em direção aos furos de saída.

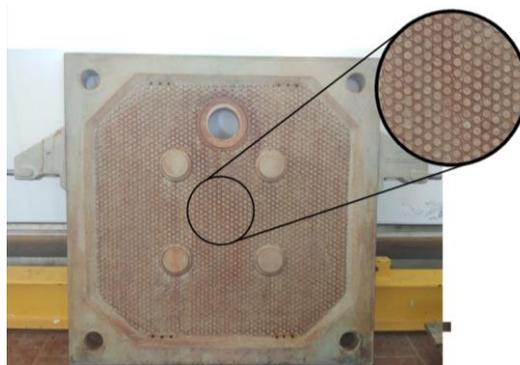


Figura 17. Placa do filtro prensa sem a tela filtrante.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para otimização do processo de desidratação realizaram-se recolhas de amostras de lama e/ou sobrenadante em cada uma das etapas da linha sólida. Nestas amostras monitorizaram-se diversos parâmetros que permitiram avaliar o desempenho do processo. Na Tabela 3 encontra-se a identificação dos locais de amostragem, tipos de amostras e parâmetros analíticos monitorizados na linha sólida.

No Anexo II são apresentadas todas as instruções de trabalho para a operação da linha sólida, que incluem a recolha das amostras, análises laboratoriais e funcionamento dos equipamentos de secagem (filtro prensa e centrífuga).

A especificação dos equipamentos utilizados na realização das análises laboratoriais e dos equipamentos de desidratação encontram-se no Anexo I.

O registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação) resume-se no Anexo III.

Tabela 3. Identificação dos locais de amostragem e parâmetros analíticos monitorizados

Local	Amostra	Parâmetro a analisar	
Estação Elevatória de lama	Lama de cal	Concentração da lama	g/L
	Lama decantada	Concentração da lama	g/L
Espessador	Sobrenadante	pH	Escala Sorensen
		Turvação	
		Altura	m
Cisterna de Equalização de lamas	Lama da cisterna	Concentração da lama	g/L
		pH	Escala Sorensen
Centrífuga	Lama desidratada	Matéria seca	%
	Sobrenadante	Turvação	
	Dados	Diferencial	min-1
		Torque	kN m
		Caudal de lama	m <sup>3</sup> /h
		Caudal de polieletrólito	m <sup>3</sup> /h
Filtro prensa	Lama desidratada	Matéria seca	%
	Sobrenadante	Turvação	
	Dados	Pressão	min <sup>-1</sup>
		Caudal de lama	m <sup>3</sup> /h
		Caudal de polieletrólito	m <sup>3</sup> /h

### 4.1 REGISTO OPERACIONAL E CONTROLO ANALÍTICO DO FILTRO PRENSA

Uma vez que o filtro prensa era novo na ETA, foi necessário estudar o funcionamento do filtro prensa e elaborar instruções de trabalho (Anexo II - iii) para os trabalhadores poderem dar seguimento ao estudo.

De 21 de abril a 1 de outubro de 2021, registaram-se as condições operacionais do filtro prensa e fez-se o controlo analítico. No Anexo III encontra-se um exemplo do registo para um ciclo de funcionamento do equipamento e o registo operacional para cada um dos ciclos realizados.

Na avaliação da desidratação por filtro prensa apenas se consideraram os ciclos de 12 de julho a 1 de outubro de 2021 (numerados de 1 a 57). Os ciclos realizados de 21 de abril a 9 de julho (identificados de A a X) não se consideraram na análise de resultados uma vez que no enchimento do filtro prensa se injetou um caudal irregular de lama. Nestes ciclos registaram-se variações de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  a  $6 \text{ m}^3/\text{h}$  de caudal de lama durante o mesmo ciclo, desencadeando instabilidade no doseamento de polieletrólito, cujo caudal é regulado em função do caudal de lama.

Durante cada ciclo monitorizou-se a pressão do manómetro que controla a pressão no interior das placas, o caudal instantâneo e o volume de lama alimentado ao filtro prensa, o caudal instantâneo e o consumo de polieletrólito e os tempos de enchimento, de secagem e de abertura. Em laboratório, analisou-se a percentagem de matéria seca da lama desidratada, a turvação do sobrenadante e a concentração da lama da cisterna de equalização (lama que é alimentada ao filtro prensa).

Com os dados recolhidos calculou-se o caudal médio de lama e de polieletrólito alimentado ao filtro prensa (através da Equação 1 e da Equação 2, respetivamente).

$$\overline{Q}_{\text{LFP}} = \frac{V_{\text{LFP ciclo}}}{te} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\overline{Q}_{\text{PFP}} = \frac{CP_{\text{FP ciclo}}}{Te} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$CP_{\text{FP ciclo}} / \text{m}^3$  – Consumo de polieletrólito pelo filtro prensa por ciclo

$\overline{Q}_{\text{LFP}} / (\text{m}^3/\text{h})$  – Caudal médio de lama alimentado ao filtro prensa

$\overline{Q}_{\text{PFP}} / (\text{m}^3/\text{h})$  – Caudal médio de polieletrólito alimentado ao filtro prensa

$te / \text{h}$  – Tempo de enchimento por ciclo

$V_{\text{LFP ciclo}} / \text{m}^3$  – Volume de lama alimentado ao filtro prensa por ciclo

De modo a facilitar a interpretação dos resultados obtidos com os 57 ciclos de funcionamento, calculou-se uma média dos valores obtidos nos diferentes parâmetros para os ciclos realizados nas mesmas condições de caudal de lama e concentração da lama da cisterna de equalização.

Na análise do efeito do tempo de secagem, utilizou-se uma metodologia diferente: calculou-se uma média dos resultados dos diferentes parâmetros para os ciclos com as mesmas condições de caudal de lama, tempo de secagem e concentração da lama da cisterna.

## 4.2 COMPARAÇÃO DA CENTRÍFUGA E FILTRO PRENSA

### 4.2.1 PERCENTAGEM DE MATÉRIA SECA NA LAMA DESIDRATADA E TURVAÇÃO DO SOBRENADANTE

Os valores da centrífuga considerados na comparação da percentagem de matéria seca na lama desidratada e da turvação do sobrenadante referiram-se aos dias em que se desidratou com o filtro prensa, garantindo valores da concentração da lama da cisterna de equalização iguais.

### 4.2.2 VOLUME DE LAMA ALIMENTADO

Na comparação do volume de lama alimentado, o período de tempo considerado foi o tempo total de um ciclo do filtro prensa. Nesta comparação também se utilizaram apenas os valores referentes aos dias em que o filtro prensa desidratou.

Uma vez que os dados existentes para a centrífuga são valores diários, foi necessário extrapolar-se os valores para o tempo total de cada um dos ciclos do filtro prensa. Calculou-se o caudal médio de lama alimentado à centrífuga (Equação 3) e, posteriormente, o volume de lama alimentado por ciclo à centrífuga (através da Equação 4).

$$\overline{QL}_{Cent} = \frac{VL_{Cent\ dia}}{t_{Cent\ dia}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$VL_{Cent\ ciclo} = \overline{QL}_{Cent} \times t_{ciclo} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

$\overline{QL}_{Cent}$  / (m<sup>3</sup>/h) – Caudal médio de lama alimentado à centrífuga

$t_{Cent\ dia}$  / h – Tempo de funcionamento da centrífuga num dia

$t_{ciclo}$  / h – Tempo total de um ciclo

$VL_{Cent\ ciclo}$  / m<sup>3</sup> – Volume de lama alimentado à centrífuga por ciclo do filtro prensa

$VL_{Cent\ dia}$  / m<sup>3</sup> – Volume de lama alimentado à centrífuga num dia

### 4.2.3 CONSUMO DE POLIELETRÓLITO

Para comparar o consumo de polieletrólito da centrífuga e do filtro prensa, calculou-se a taxa de tratamento de polieletrólito para os dois equipamentos, no período de 14 de julho a 1 de outubro de 2021.

Para o cálculo desta taxa, foi recolhida informação da quantidade de lama desidratada, percentagem de matéria seca, consumo e concentração do polieletrólito. No estudo foi utilizado, na centrífuga e no filtro prensa, o mesmo polieletrólito e com a mesma concentração.

Tendo-se apenas disponível a quantidade de lama desidratada por contentor (junção de lama desidratada de vários dias ou ciclos), o consumo de polieletrólito foi calculado assumindo-se a soma dos consumos verificados durante o enchimento do contentor. Relativamente à percentagem de matéria seca, realizou-se cálculo da média obtida nesses dias ou ciclos.

A taxa de tratamento de polieletrólito (Equação 7) calculou-se dividindo a quantidade de polieletrólito (Equação 5) pela quantidade de matéria seca na lama desidratada (Equação 6).

$$m_{\text{Poli}} = CP \times C_{\text{Poli}} \quad (\text{Equação 5})$$

$$m_{\text{MS.Lama}} = m_{\text{Lama}} \times \frac{\%MS}{100} \quad (\text{Equação 6})$$

$$TT = \frac{m_{\text{Poli}}}{m_{\text{MS.Lama}}} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$\%MS / \%$  – Percentagem de matéria seca

$CP / \text{m}^3$  – Consumo de polieletrólito

$C_{\text{Poli}} / (\text{kg}/\text{m}^3)$  – Concentração mássica de polieletrólito

$m_{\text{Lama}} / \text{t}$  – Massa de lama desidratada

$m_{\text{MS.Lama}} / \text{t}$  – Massa de matéria seca na lama desidratada

$m_{\text{Poli}} / \text{kg}$  – Massa de polieletrólito

$TT / (\text{kg}/\text{t})$  – Taxa de tratamento de polieletrólito

### 4.2.4 CONSUMO DE ENERGIA E CUSTOS

Uma vez que o filtro prensa era recente na ETA, na comparação do consumo de energia e dos custos anuais, os valores do filtro prensa foram extrapolados com o pressuposto de que a empresa

apenas o possuía para desidratar toda a lama gerada na ETA. Para o efeito, foram utilizados dados da desidratação com a centrífuga relativos a 2020.

Os valores para o filtro prensa foram calculados para um determinado período (trimestral e anual). Nos cálculos assumiu-se que: o caudal médio de lama do filtro prensa foi de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , o filtro prensa teve capacidade para desidratar cerca de  $6 \text{ m}^3$  de lama por ciclo, o tempo total de um ciclo foi de 3,5 h e o filtro prensa desidratou todos os dias.

Partindo do volume de lama alimentado à centrífuga durante um trimestre/ano, calculou-se o número de ciclos que seriam necessários para desidratar com o filtro prensa (através da Equação 8).

De seguida, determinou-se o número de ciclos necessários por dia (com a Equação 9) de modo a calcular-se o número de horas de funcionamento que o filtro prensa precisaria trabalhar por dia (pela Equação 10).

Por último, determinou-se o número de horas de funcionamento por trimestre/ano (através da Equação 11).

$$Ciclo_{\text{período}} = \frac{VL_{\text{Cent período}}}{VL_{\text{FP ciclo}}} \quad (\text{Equação 8})$$

$$Ciclo_{\text{dia}} = \frac{Ciclo_{\text{período}}}{D} \quad (\text{Equação 9})$$

$$t_{\text{dia}} = Ciclo_{\text{dia}} \times t_{\text{ciclo}} \quad (\text{Equação 10})$$

$$t_{\text{período}} = t_{\text{dia}} \times D \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

$Ciclo_{\text{dia}}$  – Número de ciclos do filtro prensa por dia

$Ciclo_{\text{período}}$  – Número de ciclos do filtro prensa durante um período (trimestre/ano)

$D$  – Número de dias de um período (trimestre/ano)

$VL_{\text{Cent período}} / \text{m}^3$  – Volume de lama alimentado à centrífuga durante um período (trimestre/ano)

$VL_{\text{FP ciclo}} / \text{m}^3$  – Volume de lama alimentado ao filtro prensa por ciclo

$t_{\text{ciclo}} / \text{h}$  – Tempo total de um ciclo do filtro prensa

$t_{\text{dia}} / \text{h}$  – Tempo de funcionamento do filtro prensa por dia

$t_{\text{período}} / \text{h}$  – Tempo de funcionamento do filtro prensa por período (trimestre/ano)

Para o cálculo dos custos foi necessário também determinar o consumo de polieletrólito para o filtro prensa (Equação 12). Este cálculo foi realizado com a média da taxa de tratamento no período de estudo com o filtro prensa.

Atendendo a que a percentagem de matéria seca para a centrífuga e para o filtro prensa é semelhante, utilizou-se a média da percentagem de matéria seca da centrífuga para o cálculo da quantidade de matéria seca na lama desidratada (Equação 6).

$$m_{\text{Poli}} = TT \times m_{\text{MS.Lama}} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$m_{\text{Poli}}$  / kg – Massa de polieletrólito

$TT$  / (kg/t) – Taxa de tratamento de polieletrólito

$m_{\text{MS.Lama}}$  / t – Massa de matéria seca na lama desidratada

#### 4.2.4.1 ESTUDO DE ENERGIA

Para análise do consumo de energia dos dois equipamentos de secagem, foi realizado um estudo de energia de 7 de setembro a 6 de outubro de 2021. Para o efeito foram colocados 4 contadores de energia na centrífuga, no filtro prensa e nas bombas de alimentação dos dois equipamentos. Os respetivos registos são apresentados no Anexo IV.

Partindo dos principais resultados obtidos, calculou-se a potência média para a centrífuga e para o filtro prensa (Equação 13) e, de seguida, determinou-se a energia consumida em cada período (Equação 14).

$$P = \frac{E}{t} \quad (\text{Equação 13})$$

$$E = t_{\text{período}} \times P \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

$E$  / kWh – Energia

$P$  / kW – Potência do equipamento

$t$  / h – Tempo total

$t_{\text{período}}$  / h – Tempo de funcionamento do filtro prensa por período (trimestre/ano)

#### 4.2.4.2 CUSTOS

O custo total associado aos equipamentos inclui os custos de manutenção, operação e custos correntes.

Os custos de manutenção da centrífuga e do filtro prensa foram fornecidos pelos técnicos responsáveis da manutenção da ETA X e foram calculados para uma média anual e trimestral.

Nos custos de operação incluiu-se os custos com polieletrólito, custo de transporte e deposição das lamas desidratadas e custo de aluguer de contentor, calculados pelas Equação 15, Equação 16 e Equação 17, respetivamente.

Nos cálculos assumiu-se que os preços foram sempre os mesmos ao longo dos anos. Os valores unitários considerados encontram-se na Tabela 4 (valores aplicados no ano de 2021 na ETA X).

Tabela 4. Custos unitários de operação

Custo de Polieletrólito	2,56 €/kg
Custo de Transporte e deposição de lama	79,17 €/t
Custo mensal de Aluguer de um contentor	110 €

$$c_P = c_{PU} \times m_{\text{Poli período}} \quad (\text{Equação 15})$$

$$c_T = c_{TU} \times m_{\text{Lama período}} \quad (\text{Equação 16})$$

$$c_A = c_{AU} \times \text{Cont}_{\text{período}} \times M \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

$c_A$  / € – Custo de aluguer de contentor

$c_{AU}$  / € – Custo unitário de aluguer de um contentor por mês

$\text{Cont}_{\text{período}}$  – Número de contentores alugados durante um período (trimestre/ano)

$c_P$  / € – Custo de polieletrólito

$c_{PU}$  / (€/kg) – Custo unitário de polieletrólito

$c_T$  / € – Custo de transporte e deposição de lama

$c_{TU}$  / (€/t) – Custo unitário de transporte e deposição de lama

$M$  – Número de meses num período (trimestre/ano)

$m_{\text{Lama período}}$  / t – Massa de lama desidratada por período (trimestre/ano)

$m_{\text{Poli período}}$  / kg – Massa de polieletrólito por período (trimestre/ano)

No que diz respeito aos custos correntes, apenas foram considerados os custos com energia (calculados com a (Equação 18)).

Para o custo de energia utilizou-se informação recolhida dos contadores de energia instalados na ETA. No caso do edifício de desidratação de lamas, o custo específico de energia registado foi de 0,076532 €/kWh.

$$c_E = c_{EU} \times E \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

$c_E$  / € – Custo de energia

$c_{EU}$  / (€/kWh) – Custo unitário de energia

$E$  / (kWh) – Energia

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 AVALIAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO POR FILTRO PRENSA

Para a avaliação do desempenho do filtro prensa foram realizados diversos ciclos de operação, tendo-se variado o caudal de lama, o caudal de polieletrólito e o tempo de secagem. Foi também observado que, ao longo dos ciclos, a concentração da lama na cisterna de equalização foi alterando, pelo que também esta foi considerada como uma variável.

Com os diversos ciclos, pretendeu-se analisar o impacto de cada variável na percentagem de matéria seca da lama desidratada, na turvação do sobrenadante, no volume de lama alimentado por ciclo e no tempo de enchimento.

De seguida apresenta-se uma análise e discussão dos resultados obtidos.

#### 5.1.1 CAUDAL MÉDIO DE LAMA E CAUDAL MÉDIO DE POLIELETRÓLITO

O caudal médio de lama e de polieletrólito correspondem, respetivamente, ao valor médio dos caudais de lama e de polieletrólito alimentados ao filtro prensa durante um ciclo. Cada ciclo corresponde a um ensaio realizado com o filtro prensa e inclui as etapas de enchimento, secagem e abertura.

Ao longo dos ciclos, o caudal de lama foi regulado para se obter valores de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ . Estes caudais foram alternados de modo a obter-se, aproximadamente, o mesmo número de ciclos.

Na Figura 18 estão representados os caudais médios para cada um dos ciclos e a média dos resultados obtidos para cada um dos caudais fixados. O caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  apenas foi iniciado no 22º ciclo de funcionamento do filtro prensa.

O caudal de polieletrólito foi ajustado através da monitorização do parâmetro turvação do sobrenadante ao longo dos diversos ciclos, tendo-se observado que o melhor caudal de polieletrólito foi entre 9 % e 10 % do caudal médio de lama.

Na Figura 19 observa-se a variação do caudal médio de polieletrólito ao longo dos 57 ciclos, para cada um dos caudais de lama alimentados ao filtro prensa.

Considerando que o caudal de polieletrólito foi ajustado em função do caudal de lama e tendo-se obtido resultados idênticos aos dos caudais, não foi classificado como fator influente na otimização do processo.

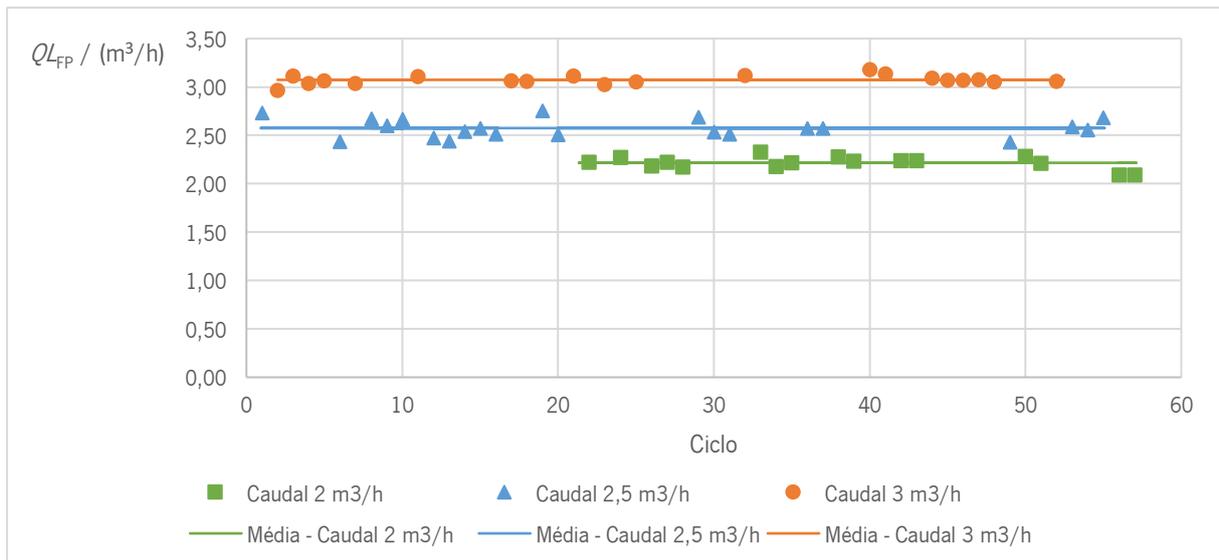


Figura 18. Variação do caudal médio de lama ( $Q_{L_{FP}}$ ) ao longo dos ciclos do filtro prensa.

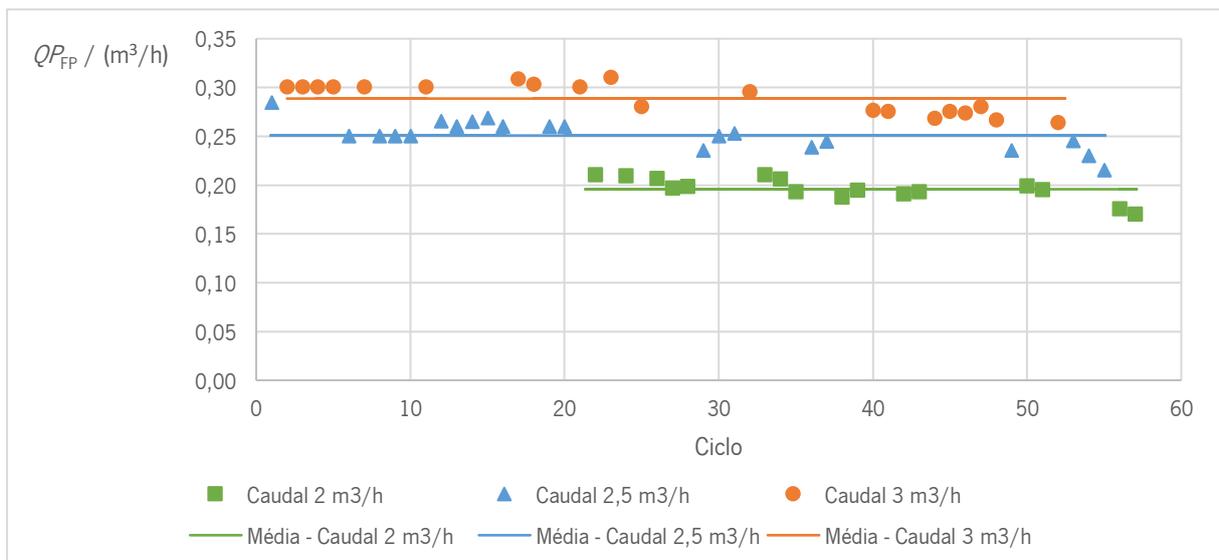


Figura 19. Variação do caudal médio de polieletrólito ( $Q_{P_{FP}}$ ) ao longo dos ciclos.

### 5.1.2 CONCENTRAÇÃO DA LAMA DA CISTERNA DE EQUALIZAÇÃO

A lama alimentada ao filtro prensa é a lama da cisterna de equalização, mistura de lama de cal e lama decantada após passar pela etapa de espessamento.

A concentração da lama alimentada ao filtro prensa corresponde ao valor médio da concentração da lama da cisterna de equalização durante um ciclo.

Nos primeiros 17 ciclos, realizados durante o mês de julho de 2021, a concentração da lama na cisterna de equalização esteve mais elevada, atendendo a que nesse mês se efetuou uma limpeza dos

saturadores de água de cal, encaminhando-se toda a lama de cal (concentração superior à lama decantada) para a linha sólida da instalação (Figura 20).

Acrescenta-se, ainda, que os ensaios realizados com o caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  apenas foram iniciados quando a concentração da lama da cisterna de equalização se manteve estável com um valor médio de  $(14,32 \pm 0,75) \text{ g/L}$ .

Os valores médios da concentração de lama obtidos para os caudais de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  foram  $(17,79 \pm 4,11) \text{ g/L}$  e  $(15,99 \pm 3,43) \text{ g/L}$ , respetivamente.

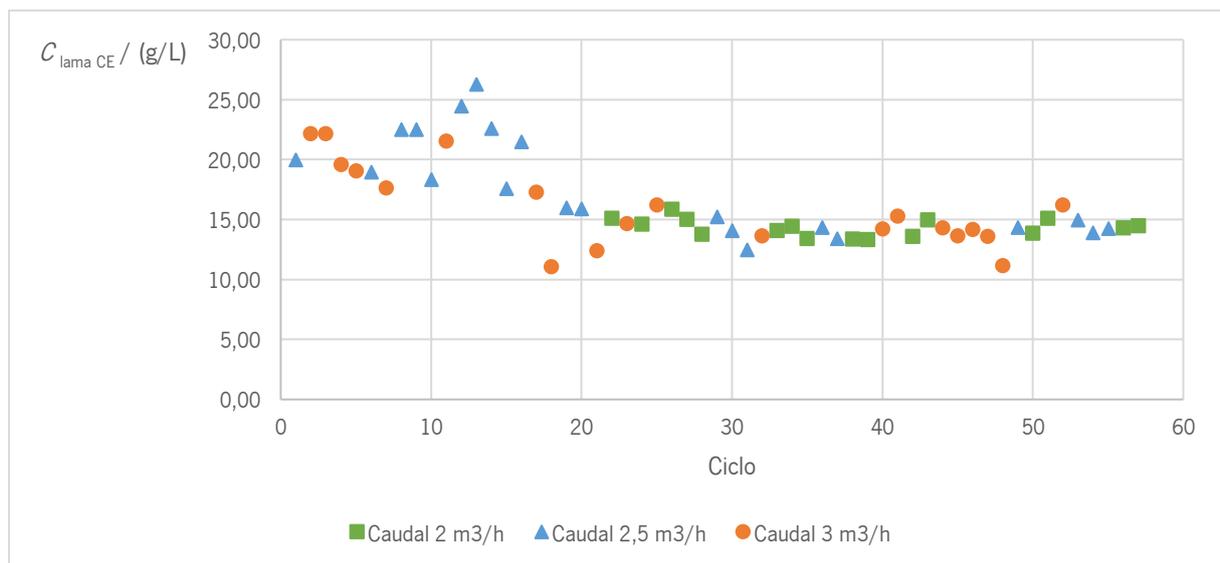


Figura 20. Variação da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{\text{lama CE}}$ ) ao longo dos ciclos.

### 5.1.3 VOLUME DE LAMA ALIMENTADO POR CICLO

O volume de lama alimentado por ciclo corresponde ao volume máximo de lama alimentado ao filtro prensa durante cada ciclo.

O volume de lama alimentado ao filtro prensa nos diversos ciclos variou de  $4,10 \text{ m}^3$  a  $7,50 \text{ m}^3$ . Para os caudais de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , o volume médio de lama alimentado por ciclo foi de  $(6,85 \pm 0,45) \text{ m}^3$ ,  $(5,90 \pm 0,61) \text{ m}^3$  e  $(5,63 \pm 0,98) \text{ m}^3$ , respetivamente.

A Figura 21 evidencia que o volume de lama alimentado por ciclo foi aumentando nos ciclos iniciais. Esta tendência pode ser justificada pelo facto das telas serem novas. Perante a pressão do enchimento, as fibras das telas podem ter progressivamente alargado, permitindo injetar um maior volume de lama ao filtro prensa.

A partir do ciclo 44 verifica-se uma diminuição do volume de lama alimentado, podendo ser justificado pela colmatação das telas filtrantes e respetivas placas. Perante a colmatação, a saída do sobrenadante foi impedida e a pressão de enchimento foi atingida mais rapidamente, provocando a paragem antecipada do ciclo.

Para determinação do volume máximo de lama a alimentar ao filtro prensa seria necessário ensaiar a periodicidade da lavagem das placas entre ciclos.

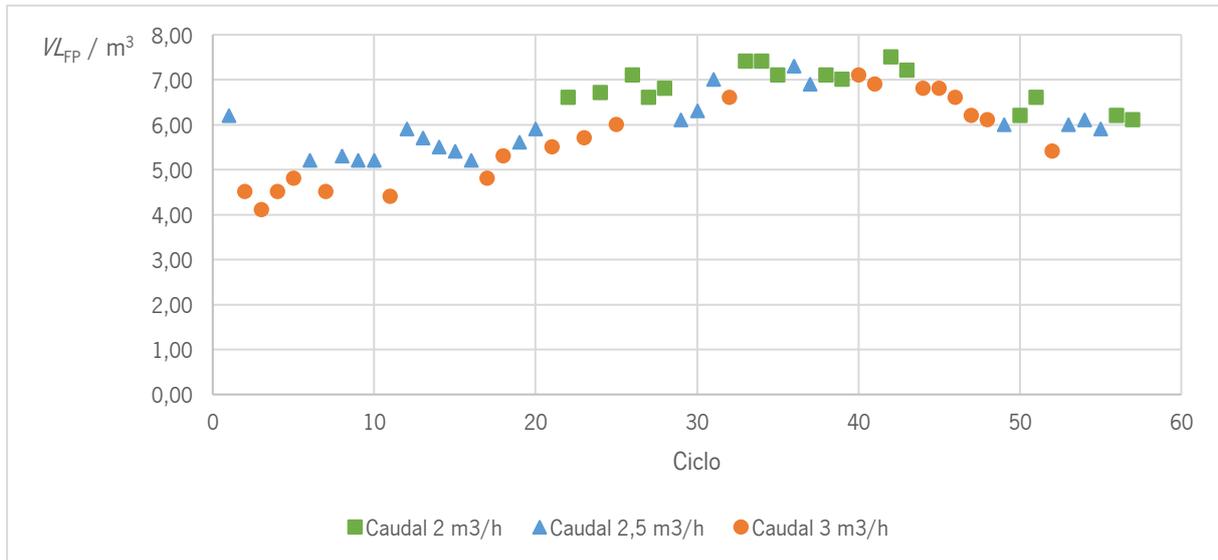


Figura 21. Variação do volume máximo de lama alimentado ao filtro prensa ( $V_{FP}$ ) ao longo dos ciclos.

### 5.1.3.1 EFEITO DO CAUDAL MÉDIO DE LAMAS E DA CONCENTRAÇÃO DA LAMA DA CISTERNA DE EQUALIZAÇÃO NO VOLUME DE LAMA ALIMENTADO POR CICLO

Na Figura 22 representa-se o caudal médio de lama em função do volume de lama alimentado por ciclo. Observou-se que, na generalidade, ao menor caudal de lama alimentado, correspondeu um maior volume de lama por ciclo.

Na Figura 23 apresenta-se o efeito da concentração da lama da cisterna de equalização no volume de lama alimentado por ciclo. Verificou-se um decréscimo do volume de lama alimentado para maiores de concentrações da lama da cisterna de equalização.

Analisando os dois gráficos (Figura 22 e Figura 23) verificou-se que, quanto maior o caudal de lama alimentado ao filtro prensa e maior a concentração de lama da cisterna de equalização, menor o volume de lama alimentado ao equipamento por ciclo (pontos representados por: ▲ para o caudal de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; ● para o caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

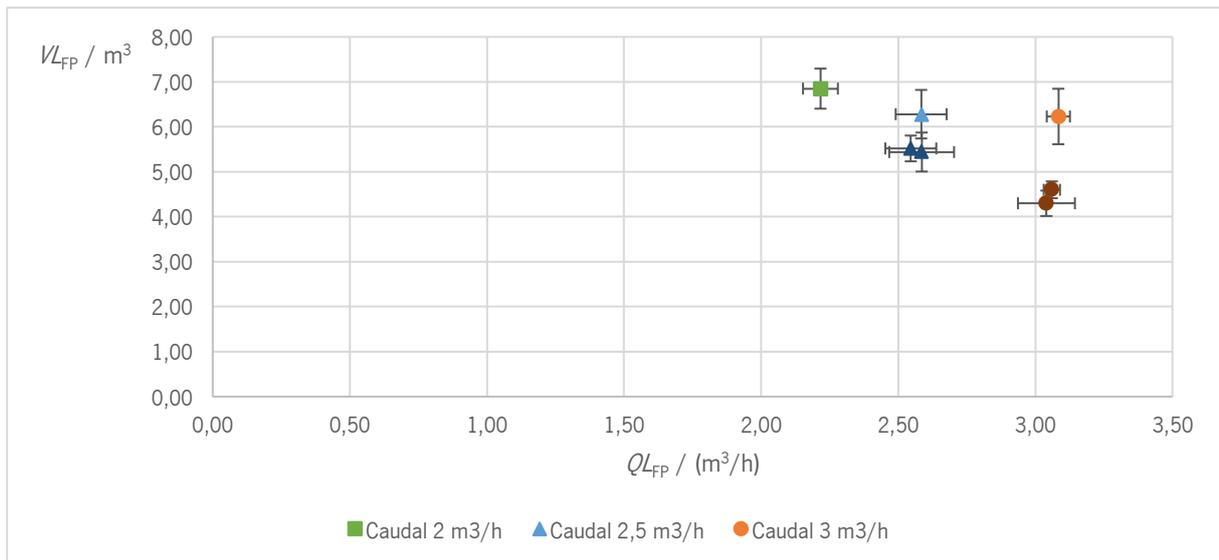


Figura 22. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{L_{FP}}$ ) no volume de lama alimentado por ciclo ( $V_{L_{FP}}$ ).

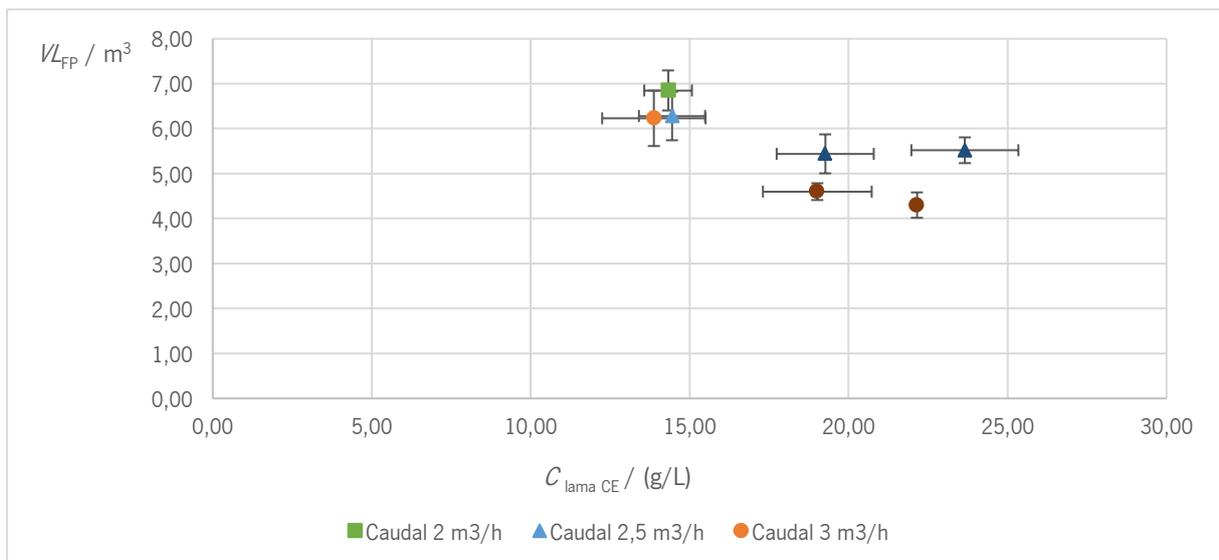


Figura 23. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) no volume de lama alimentado por ciclo ( $V_{L_{FP}}$ ).

#### 5.1.4 TEMPO DE ENCHIMENTO

O tempo de enchimento corresponde ao período de injeção de lama ao filtro prensa, variando com o caudal de alimentação de lama em cada ciclo.

Nos ciclos realizados, o tempo de enchimento variou de 1,3 h a 3,4 h. Para os caudais de  $2\ m^3/h$ ,  $2,5\ m^3/h$  e  $3\ m^3/h$ , a média do tempo enchimento foi de  $(3,09 \pm 0,18)$  h,  $(2,29 \pm 0,25)$  h e  $(1,83 \pm 0,31)$  h, respetivamente.

Na Figura 24 verifica-se que o tempo de enchimento aumenta nos primeiros ciclos e diminui nos últimos, tendência semelhante à observada para o parâmetro do volume de lama alimentado por ciclo (Figura 21).

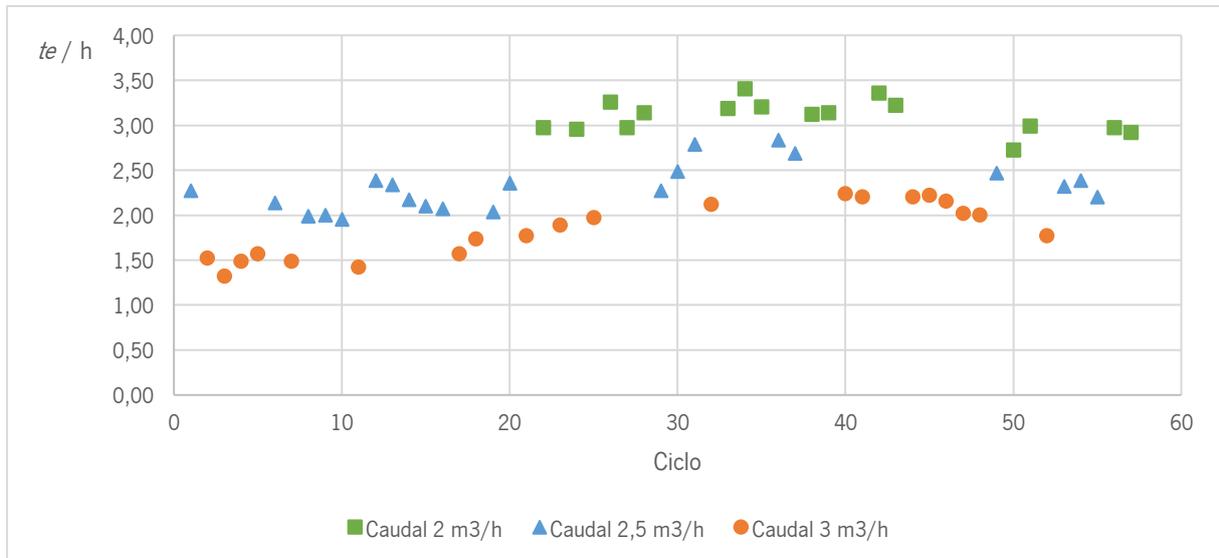


Figura 24. Variação do tempo de enchimento ( $t_e$ ) ao longo dos ciclos.

#### 5.1.4.1 EFEITO DO CAUDAL MÉDIO DE LAMA E DA CONCENTRAÇÃO DA LAMA DA CISTERNA DE EQUALIZAÇÃO NO TEMPO DE ENCHIMENTO

Na Figura 25, onde se representa o efeito do caudal de lama no tempo de enchimento, confirmou-se o que era expectável: quanto maior o caudal de lama, menor o tempo de enchimento.

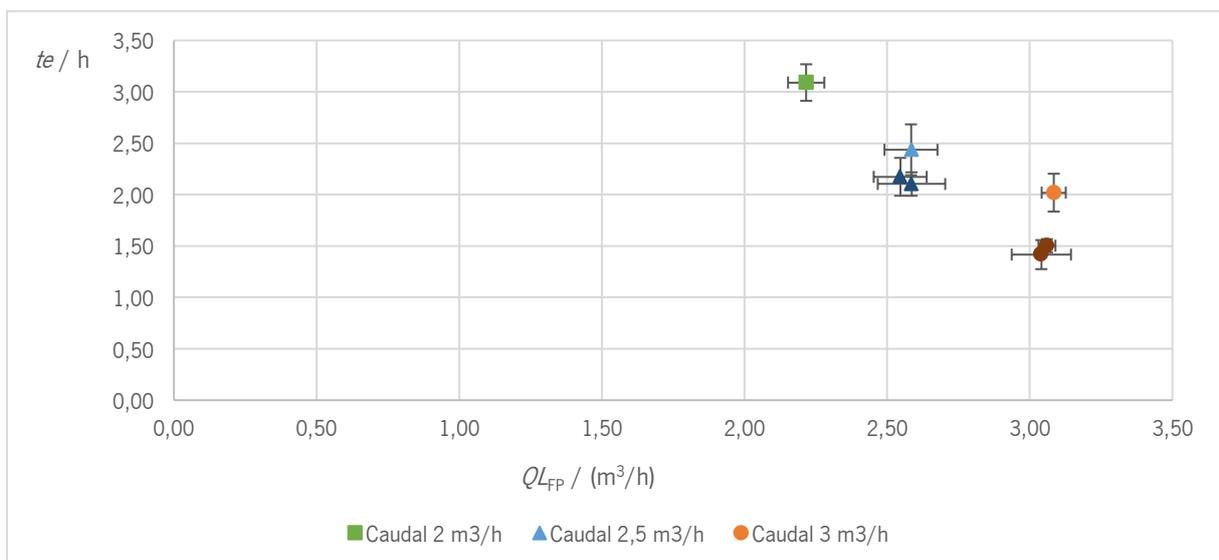


Figura 25. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{LFP}$ ) no tempo de enchimento ( $t_e$ ).

Com a Figura 26, na qual se compara a concentração da lama da cisterna de equalização com o tempo de enchimento, observou-se que, de um modo geral, quanto maior a concentração da lama da cisterna de equalização, menor o tempo de enchimento.

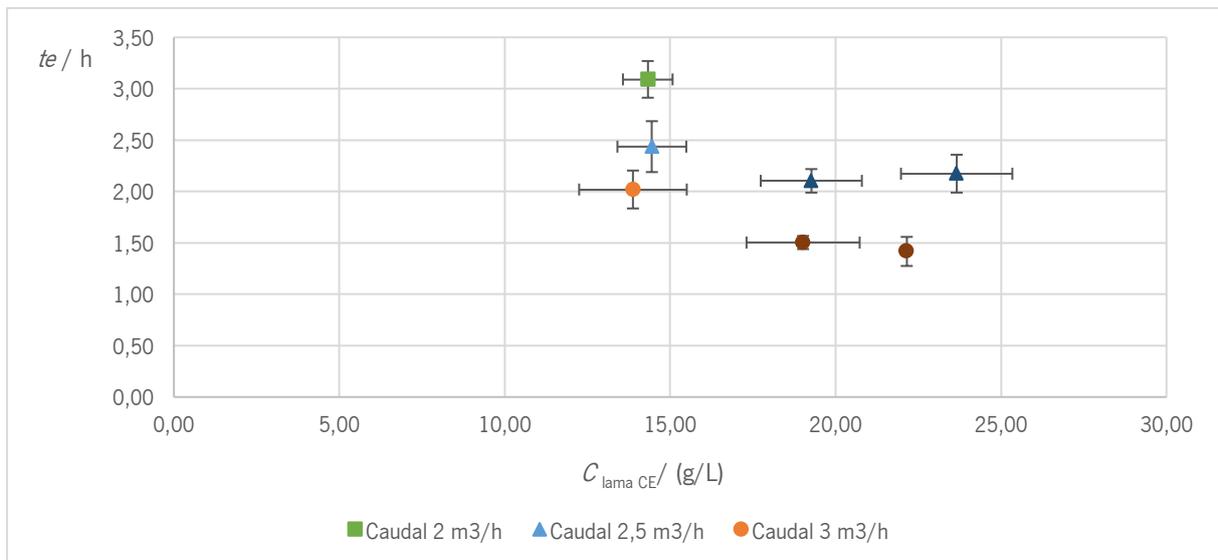


Figura 26. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) no tempo de enchimento ( $t_e$ ).

Resumidamente, nos ensaios realizados, os menores tempos de enchimento foram obtidos para as maiores concentrações de lama da cisterna e caudal de lama alimentado ao filtro prensa mais elevado.

### 5.1.5 PERCENTAGEM DE MATÉRIA SECA NA LAMA DESIDRATADA

A percentagem de matéria seca apresentada corresponde à média obtida nas diferentes análises da lama desidratada pelo filtro prensa, em cada ciclo.

Na Figura 27 apresenta-se a variação da percentagem de matéria seca na lama desidratada (com o respetivo erro), ao longo dos 57 ciclos de funcionamento do filtro prensa. Os valores obtidos variaram de 16 % a 28 %, claramente abaixo dos referidos na literatura (de 30 % a 50 %) [6–8].

#### 5.1.5.1 EFEITO DO TEMPO DE SECAGEM NA PERCENTAGEM DE MATÉRIA SECA NA LAMA DESIDRATADA

O tempo de secagem corresponde ao tempo decorrido desde a paragem do enchimento do filtro prensa até se iniciar a fase de abertura das placas. Neste tempo pretende-se que o sobrenadante, que ainda esteja preso nas telas e placas, escorra, secando a lama.

Pela análise dos gráficos da Figura 28 conclui-se que o tempo de secagem não otimizou a percentagem de matéria seca na lama desidratada.

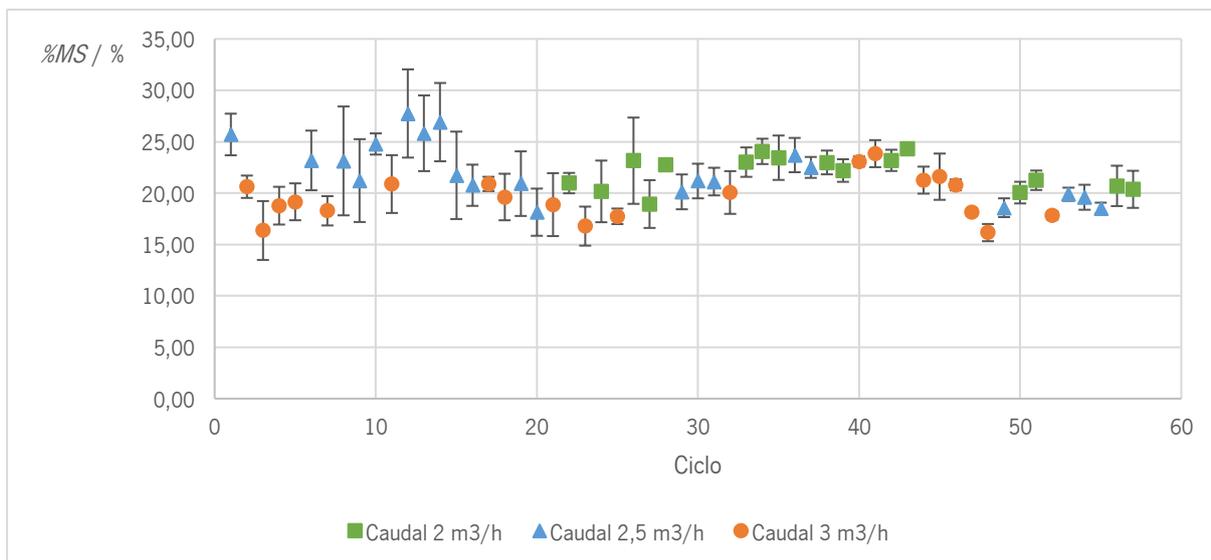


Figura 27. Variação da porcentagem de matéria seca na lama desidratada (%MS) ao longo dos ciclos.

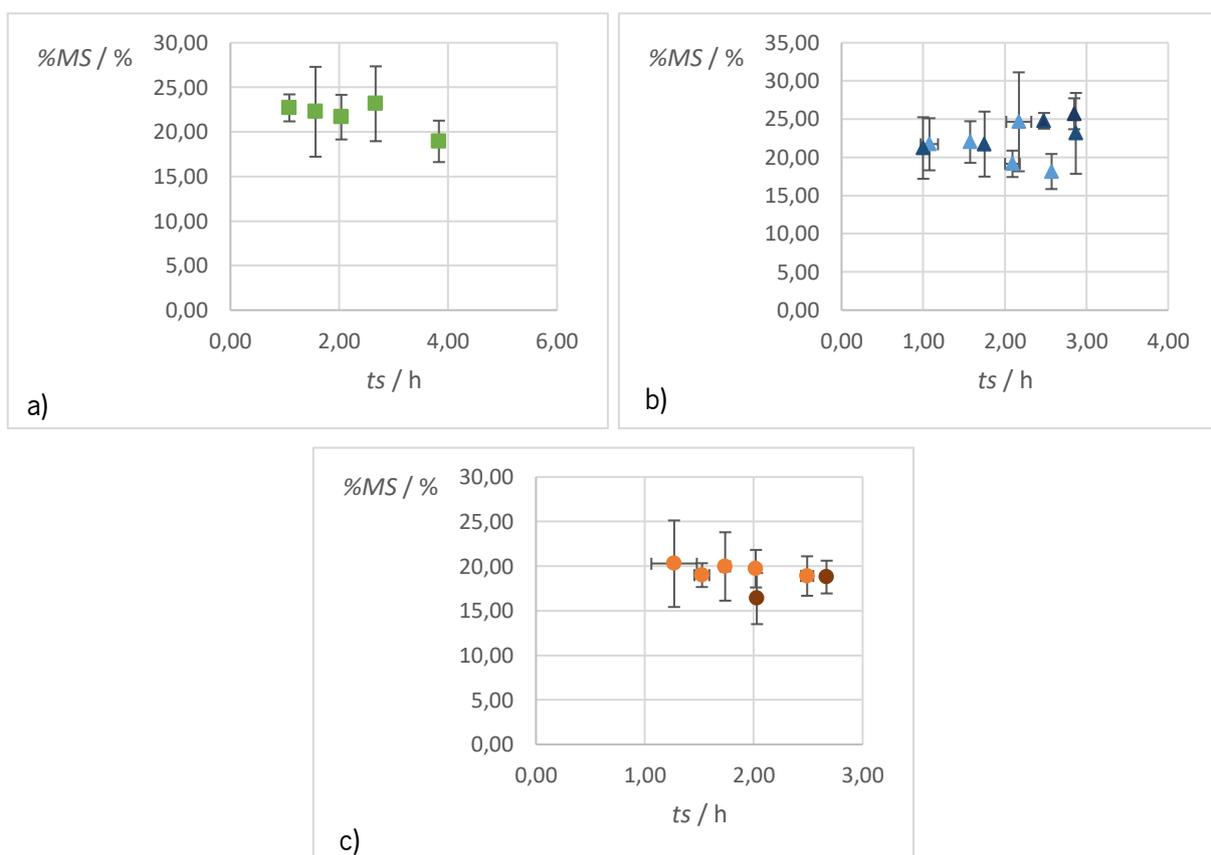


Figura 28. Efeito do tempo de secagem ( $ts$ ) na porcentagem de matéria seca (%MS): a) Caudal 2 m<sup>3</sup>/h; b) Caudal 2,5 m<sup>3</sup>/h; c) Caudal 3 m<sup>3</sup>/h.

Uma vez que o tempo de secagem não levou ao aumento da porcentagem de matéria seca na lama desidratada, este não foi considerado na restante análise gráfica da avaliação da desidratação de lama com o filtro prensa.

De igual forma, na análise comparativa entre a centrífuga e o filtro prensa também não foi considerado o tempo de secagem no tempo total do ciclo, tendo-se apenas considerado o tempo decorrido até à despressurização (aproximadamente 15 min).

#### 5.1.5.2 EFEITO DO CAUDAL MÉDIO DE LAMA E DA CONCENTRAÇÃO DA LAMA DA CISTERNA DE EQUALIZAÇÃO NA PERCENTAGEM DE MATÉRIA SECA DA LAMA DESIDRATADA

Analisando a Figura 29, que mostra o efeito do caudal de lama alimentado na percentagem de matéria seca na lama desidratada, verificou-se que os melhores resultados em termos de percentagem de matéria seca foram obtidos com o caudal  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ . No entanto, não existe uma diferença significativa relativamente aos restantes caudais avaliados, comprovando-se pela média dos valores de percentagem de matéria seca:  $(21,97 \pm 1,62) \%$  para o caudal  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $(22,15 \pm 2,79) \%$  para o caudal  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $(19,54 \pm 2,11) \%$  para o caudal  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

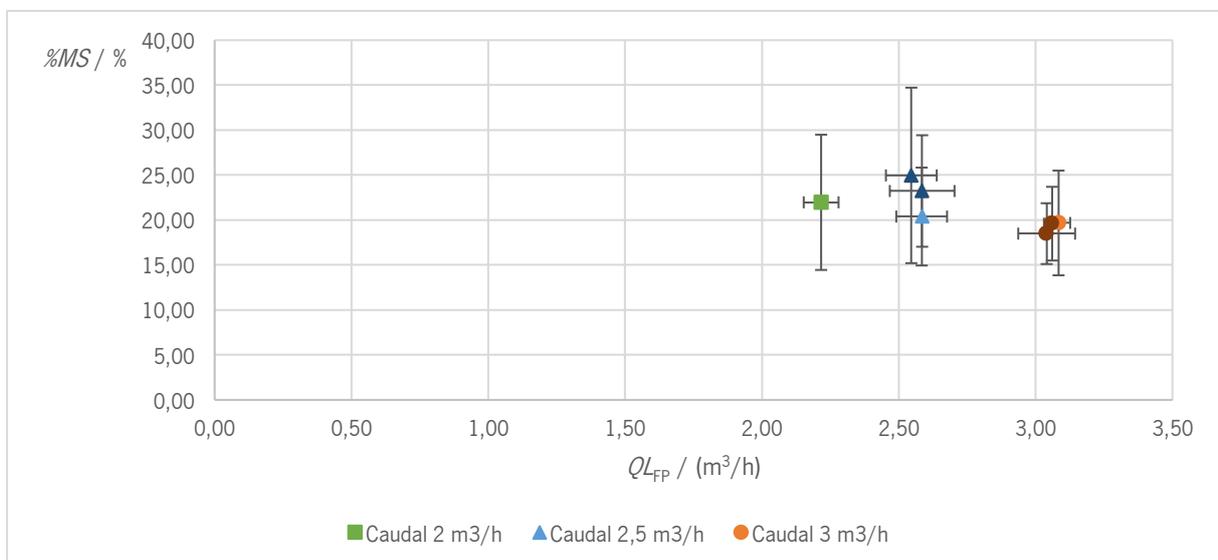


Figura 29. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{Lm}$ ) na percentagem de matéria seca (%MS).

O efeito da concentração da lama da cisterna de equalização na percentagem de matéria seca está apresentado na Figura 30.

Para o caudal  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , os ciclos com maior concentração da lama da cisterna de equalização (representados com ▲), apresentaram um aumento na percentagem de matéria seca na lama desidratada, em comparação com os ciclos com menor concentração da lama (▲).

No entanto, para o caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , os ciclos com maior concentração da lama da cisterna de equalização (●) exibiram uma ligeira diminuição da percentagem de matéria seca quando comparados com os ciclos com menor concentração da lama (○). Esta constatação poderá ser eventualmente

justificada por floculação insuficiente. Esta análise poderia ser comprovada através da realização de ensaios com maior doseamento de polieletrólito, uma vez que a lama estava mais concentrada relativamente aos outros ensaios. Poder-se-ia também alterar o ponto de injeção de polieletrólito de forma a permitir um maior tempo de contacto com a lama.

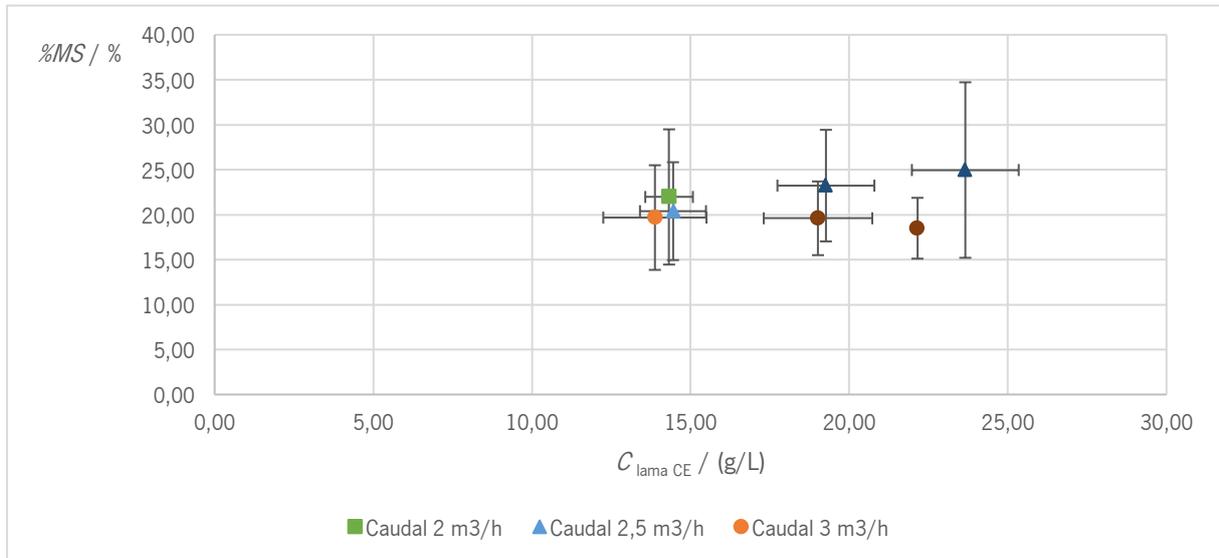


Figura 30. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{\text{lama CE}}$ ) na percentagem de matéria seca (%MS).

### 5.1.6 TURVAÇÃO NO SOBRENADANTE

Os valores de turvação correspondem ao valor médio da turvação no sobrenadante ao longo de um ciclo. Os valores obtidos para os 57 ciclos encontram-se representados na Figura 31, com o devido erro associado.

Ao longo dos ciclos registou-se uma considerável variação da turvação, desde 57 a 457 NTU. Os respetivos erros da média foram muito elevados uma vez que os valores de turvação ao longo do tempo de enchimento do ciclo variaram bastante, começando a turvação a aumentar com o passar do tempo na maioria dos ciclos (Figura 32).

Para o caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ , a turvação média, como NTU, foi de  $(127,54 \pm 41,75)$  variando nos diversos ciclos de 61 a 225.

Relativamente ao caudal de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , a turvação variou de 60 a 417, com uma turvação média de  $(181,77 \pm 87,07)$ .

Por fim, para o caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , a turvação variou de 57 a 457, com uma turvação média de  $(190,51 \pm 112,50)$ .

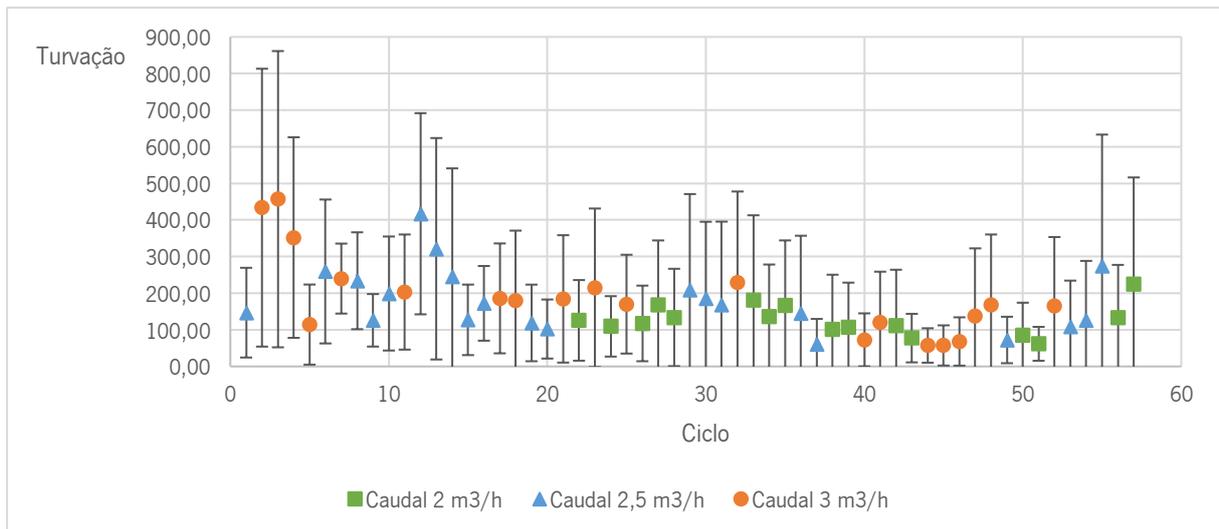


Figura 31. Variação da turvação do sobrenadante ao longo dos ciclos.

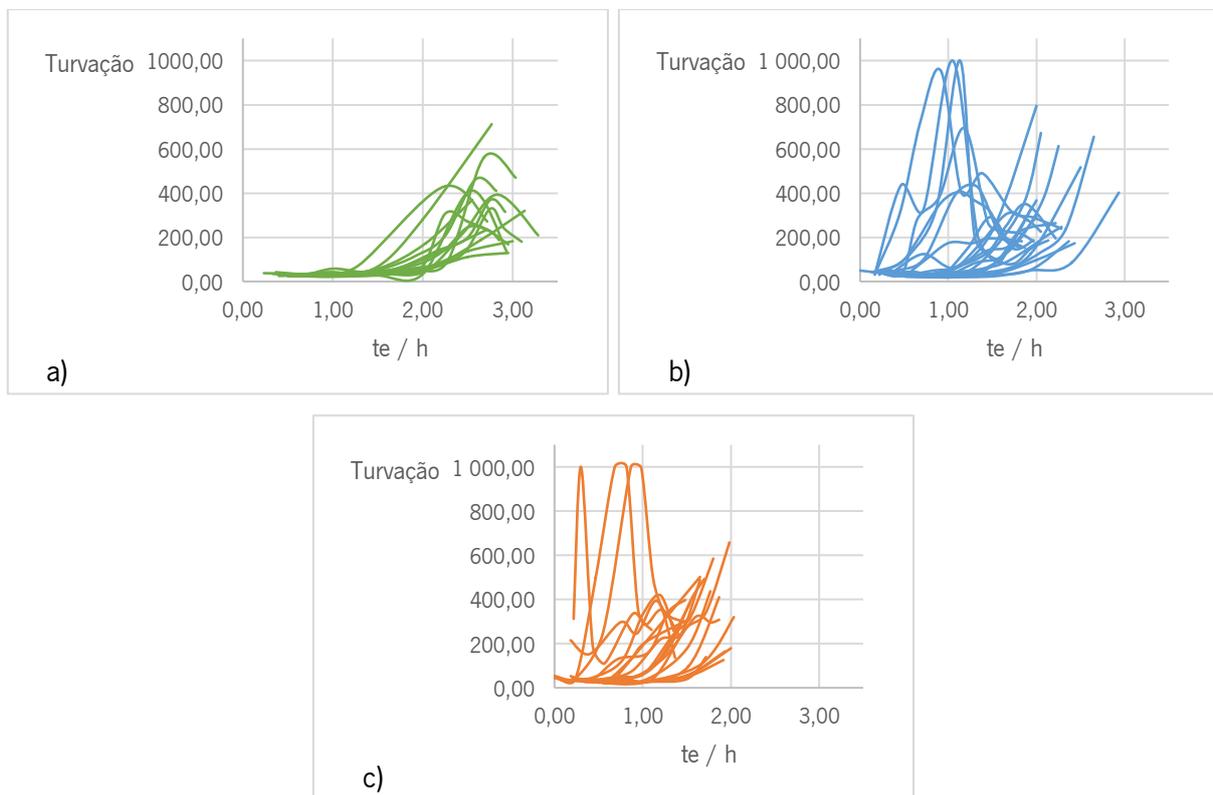


Figura 32. Variação da turvação do sobrenadante ao longo do tempo de enchimento ( $te$ ) de cada um dos ciclos: a) Caudal  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ ; b) Caudal  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ; c) Caudal  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 5.1.6.1 EFEITO DO CAUDAL MÉDIO DE LAMAS E DA CONCENTRAÇÃO DA LAMA DA CISTERNA DE EQUALIZAÇÃO NA TURVAÇÃO

Observando a Figura 33, com a representação do efeito do caudal de lama alimentado na turvação, verificou-se, para caudais mais elevados, uma tendência de aumento de turvação, que poderá estar

relacionada com floculação insuficiente, resultando na saída de alguns sólidos no sobrenadante, conforme referido anteriormente.

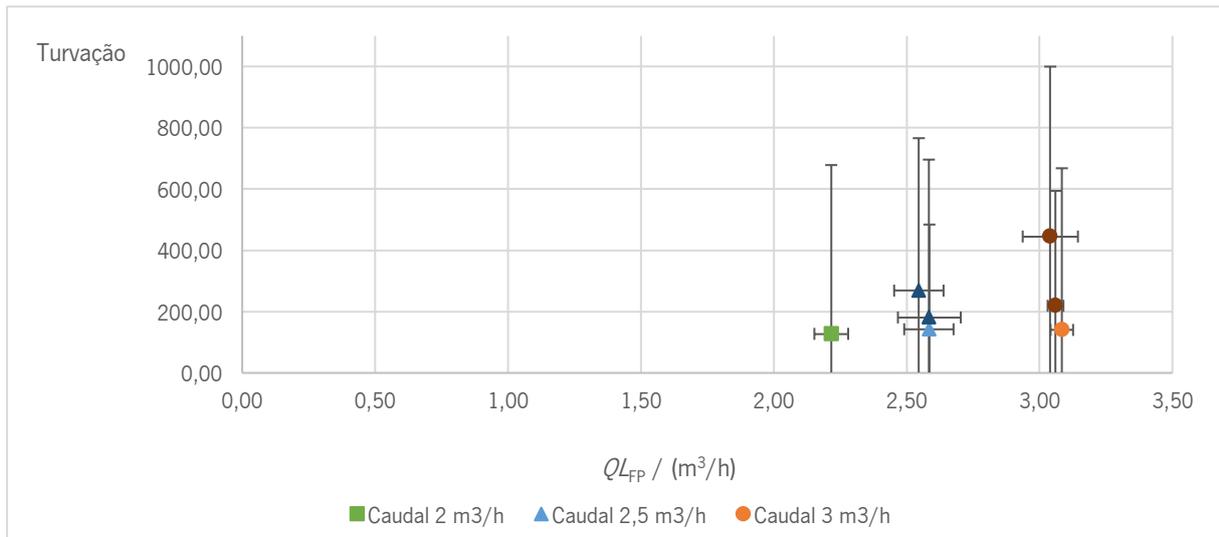


Figura 33. Efeito do caudal médio de lamas ( $Q_{LFP}$ ) na turvação.

Na Figura 34 apresenta-se o efeito da concentração da lama da cisterna de equalização na turvação do sobrenadante. Verificou-se que quanto maior era a concentração da lama da cisterna, maior era a turvação do sobrenadante, uma vez que o caudal de polieletrólito foi sempre regulado para 9 a 10 % do caudal de lama, não sendo ajustado para os valores maiores de concentração da lama da cisterna.

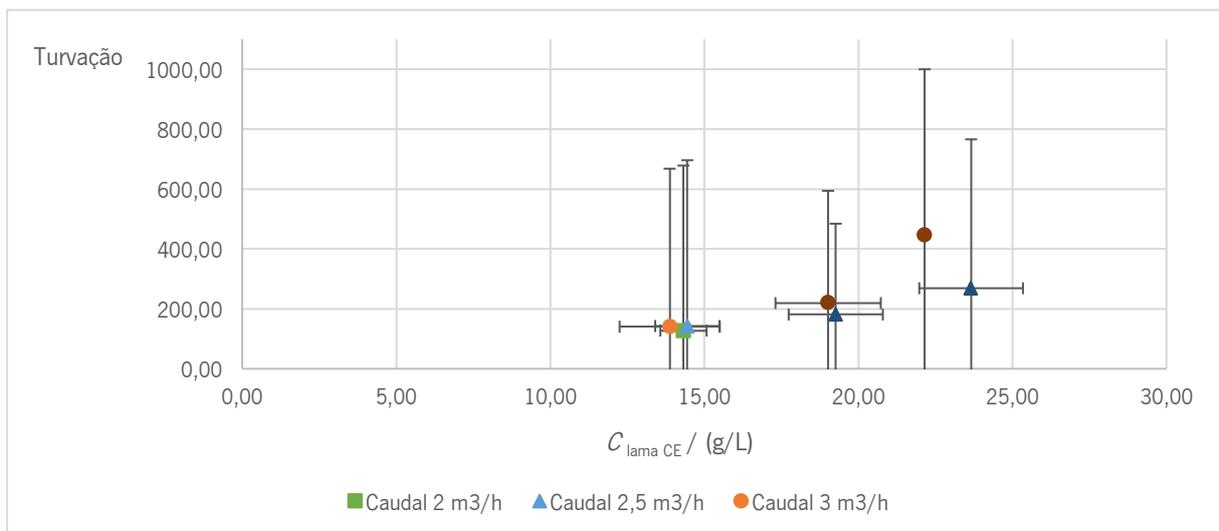


Figura 34. Efeito da concentração da lama da cisterna de equalização ( $C_{lama\ CE}$ ) na turvação.

Analisando os dois gráficos (Figura 33 e Figura 34) constatou-se que, a turvação do sobrenadante mais elevada se verificou para os valores mais altos de caudal médio de lama e concentração da lama da cisterna de equalização.

## 5.2 COMPARAÇÃO ENTRE CENTRÍFUGA E FILTRO PRENSA

Um dos principais objetivos desta dissertação foi avaliar comparativamente a centrífuga e o filtro prensa, nomeadamente: a percentagem de matéria seca na lama desidratada, a turvação no sobrenadante, o volume de lama alimentado, os custos, o consumo de polieletrólito e de energia.

### 5.2.1 PERCENTAGEM DE MATÉRIA SECA NA LAMA DESIDRATADA

A comparação da percentagem de matéria seca na lama desidratada do filtro prensa e da centrífuga, relativamente aos dias em que o filtro prensa desidratou, encontra-se na Figura 35.

A média obtida para o filtro prensa foi  $(21,18 \pm 2,55)$  % enquanto para a centrífuga foi  $(20,75 \pm 1,62)$  %. Face à reduzida diferença obtida entre os dois equipamentos (0,44 %), pode-se considerar que em termos de matéria seca da lama desidratada, os equipamentos apresentaram um desempenho semelhante.

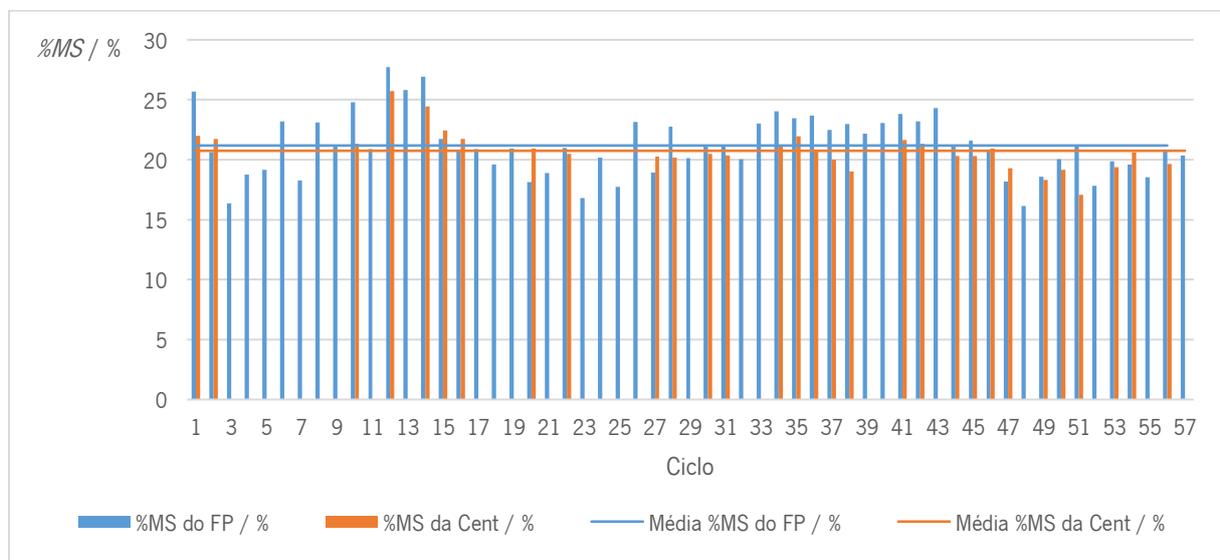


Figura 35. Comparação da percentagem de matéria seca (%MS) entre a centrífuga e o filtro prensa.

### 5.2.2 TURVAÇÃO DO SOBRENADANTE

Analisando a turvação do sobrenadante da centrífuga e do filtro prensa (Figura 36), verifica-se que nos primeiros ciclos do filtro prensa a turvação do sobrenadante foi mais elevada, porque nestes ciclos, a concentração da lama da cisterna apresentou valores mais elevados.

Considerando todos os ensaios, a média da turvação, em NTU, obtida com o filtro prensa foi de  $(169,61 \pm 90,48)$ , 10,03 superior à média da turvação no sobrenadante da centrífuga  $(159,59 \pm 41,10)$ . No entanto, se apenas forem considerados os valores de turvação no sobrenadante a partir do ciclo 18 (Figura 37), ciclo a partir do qual a concentração da lama da cisterna se manteve estável, a diferença

entre as médias é de 29,26, tendo o filtro prensa um valor médio de  $(135,84 \pm 53,27)$  e a centrífuga um valor médio de  $(165,10 \pm 45,30)$ .

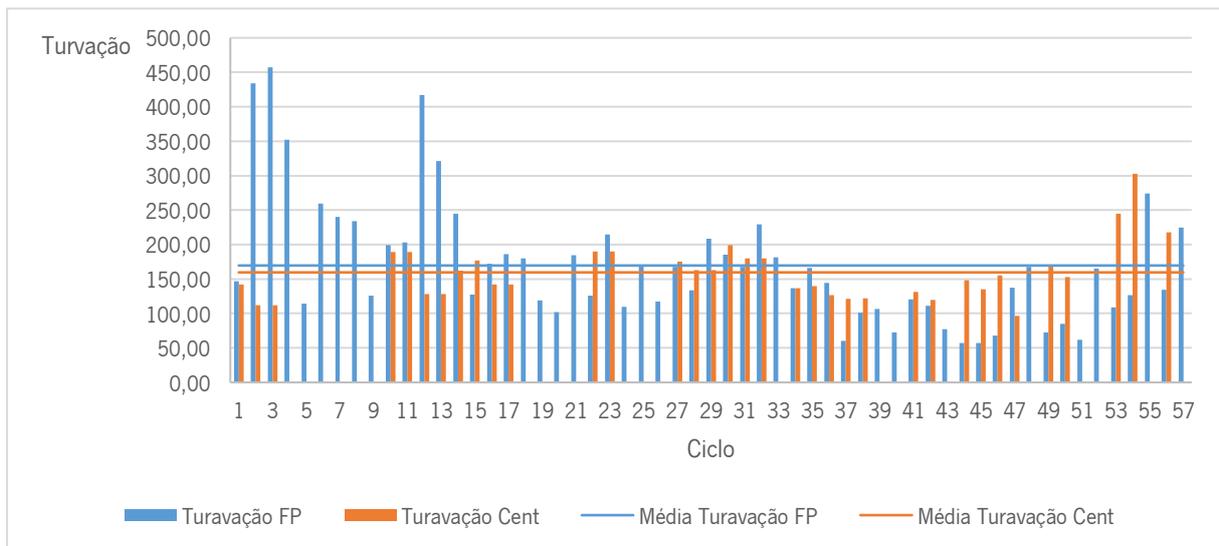


Figura 36. Comparação da Turvação entre a centrífuga e o filtro prensa.

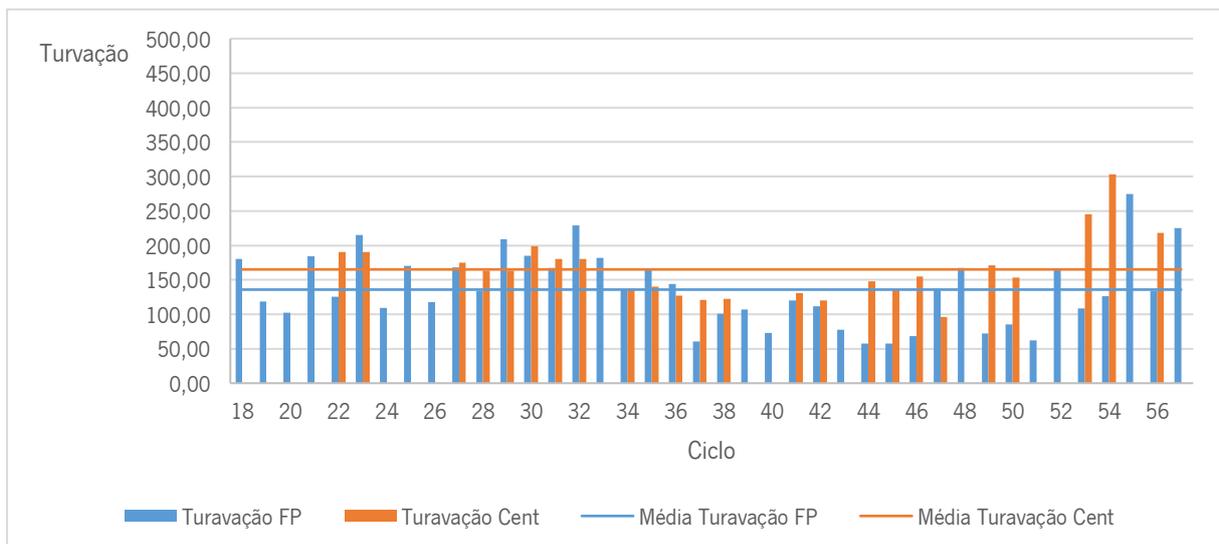


Figura 37. Comparação da Turvação entre a centrífuga e o filtro prensa (do ciclo 18 até ao 57).

Uma vez que a diferença entre a turvação média no sobrenadante da centrífuga e do filtro prensa é menor que os erros associados ao cálculo da média, pode-se concluir que os dois equipamentos têm desempenho semelhante relativamente a este parâmetro.

### 5.2.3 VOLUME DE LAMA ALIMENTADO

Na Figura 38 apresenta-se a comparação do volume de lama alimentado aos dois equipamentos, no mesmo período de tempo (o tempo total de um ciclo do filtro prensa).

Durante um ciclo do filtro prensa, o volume de lama alimentado ao equipamento é apenas relativo ao período de enchimento, não se considerando o tempo de secagem e abertura das placas. Como a centrífuga opera em modo contínuo, para o cálculo do volume de lama alimentado, considerou-se o período total do ciclo do filtro prensa.

O volume de lama alimentado à centrífuga é 2,5 vezes superior ao volume de lama alimentado ao filtro prensa durante um ciclo deste último. Em média, o filtro prensa consegue desidratar  $(6,07 \pm 0,88) \text{ m}^3$ , enquanto a centrífuga desidrata  $(15,61 \pm 4,25) \text{ m}^3$ .

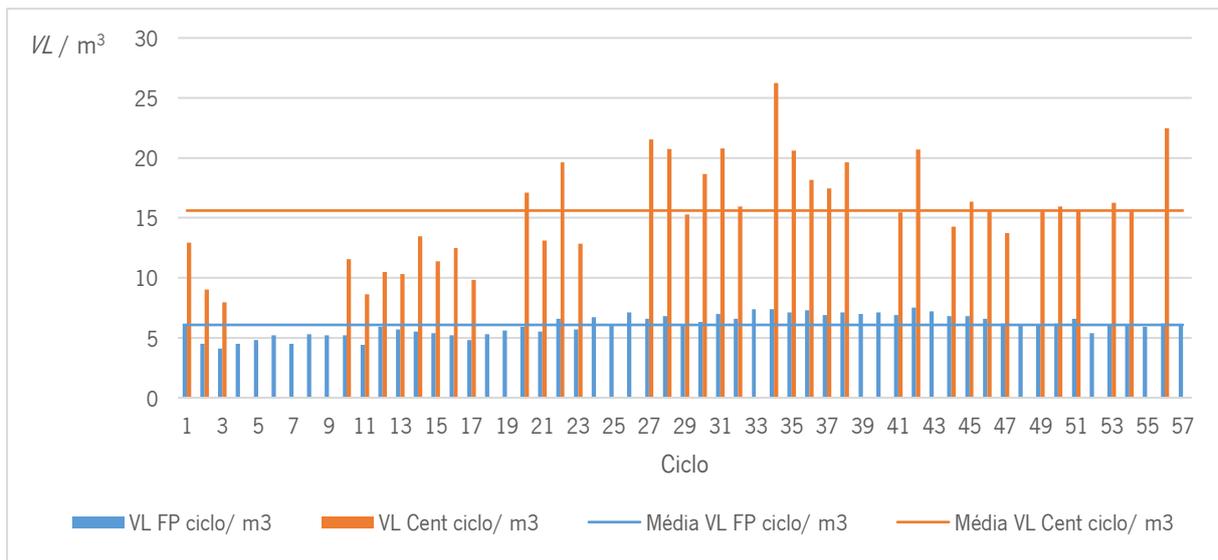


Figura 38. Comparação do volume de lama alimentado à centrífuga ( $VL_{Cent\ ciclo}$ ) e ao filtro prensa ( $VL_{FP\ ciclo}$ ) durante o ciclo do filtro prensa.

## 5.2.4 CONSUMO DE POLIELETRÓLITO

Na Figura 39 apresenta-se a comparação da taxa de tratamento de polieletrólito para os dois equipamentos (massa de polieletrólito necessária para se obter uma tonelada de matéria seca), tendo-se verificado para o mesmo período de estudo (julho a setembro), valores de  $(5,48 \pm 1,88) \text{ kg/t}$  para o filtro prensa e de  $(13,49 \pm 2,03) \text{ kg/t}$  para a centrífuga. Em termos de taxa de tratamento de polieletrólito, o filtro prensa foi mais vantajoso.

A taxa de tratamento de polieletrólito obtida para o período de ensaio, relativamente à centrífuga foi  $13,49 \text{ kg/t}$ , superior à média anual verificada em 2020 ( $8,90 \text{ kg/t}$ ).

No cálculo relativo a 2020, considerou-se o consumo anual de polieletrólito obtido por contagem de *stock* e a quantidade anual de lama desidratada/transportada.

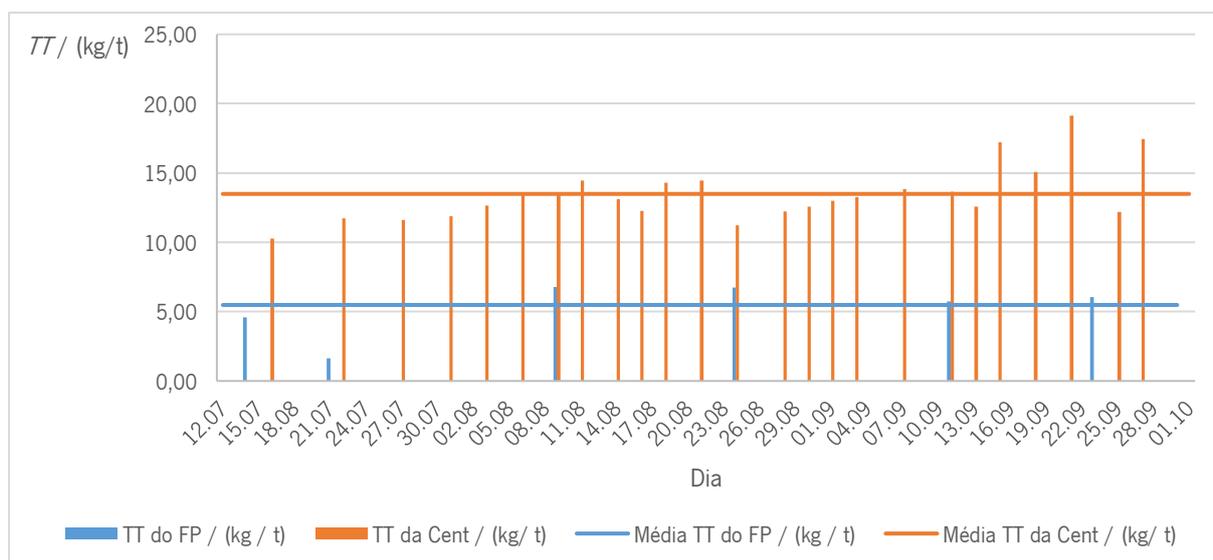


Figura 39. Comparação da taxa de tratamento (TT) do filtro prensa e da centrífuga.

O cálculo da taxa de tratamento para os 3 meses de ensaio, foi sustentado em dados gerados pelo software de gestão de operação. Constatou-se que a grandeza da unidade de medida da contabilização do volume do polieletrólito não possui granularidade suficiente nos valores (Tabela 5), introduzindo erros de contagem significativos que poderão estar na origem na discrepância do valor obtido (13,49 kg/t).

Tabela 5. Relatório da linha de lamas (22/09/2021)

22/09/2021		
Linha de Lamas		
	Tempo de Funcionamento da Centrífuga 1	Volume de polieletrólito
Hora	min	m <sup>3</sup>
13:00	0	0
14:00	34	0
15:00	55	1
16:00	66	2
17:00	60	2
18:00	36	0
19:00	0	0

## 5.2.5 CONSUMO DE ENERGIA

Na Tabela 6 encontram-se os valores de volume de lama alimentado, tempo de funcionamento e consumo de energia da centrífuga, para 2020. Para o ano mencionado, são também apresentados os valores extrapolados para o filtro prensa, pressupondo que a empresa apenas possuía o filtro prensa para desidratar toda a lama gerada na ETA.

Sendo assim, pode-se dizer que, para desidratar o mesmo volume anual de lama, o filtro prensa teria que trabalhar durante cerca de 4 552 h por ano correspondendo a 12,44 h por dia, enquanto a centrífuga trabalhou em média 1 885 h, que corresponde a cerca de 5,14 h por dia (assumindo que os equipamentos trabalham 365 dias por ano).

No entanto, como a potência média (Tabela 7) do filtro prensa calculada foi de apenas 0,55 kW, o consumo de energia deste equipamento (2 507 kWh) seria muito mais baixo que o consumo de energia da centrífuga (33 578 kWh), que apresentou uma potência média de 17,82 kW.

Em termos energéticos, o filtro prensa seria muito mais rentável do que a centrífuga.

Tabela 6. Resumo dos dados do consumo de energia, relativos ao ano 2020

Ano	Trimestre	Volume lama alimentado / m <sup>3</sup>		Tempo de funcionamento / h		Tempo de funcionamento por dia * / h		Consumo de energia / (kWh)	
		Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP
2020	1º	1 759	1 759	452	1 026	4,96	11,28	8 047	565
	2º	1 025	1 025	245	598	2,69	6,57	4 367	329
	3º	1 625	1 625	479	948	5,21	10,30	8 537	522
	4º	3 395	3 395	709	1 980	7,70	21,53	12 627	1 091
Anual		7 804	7 804	1 885	4 552	5,14	12,44	33 578	2 507

\*Assumindo que os equipamentos desidratam 365 dias por ano.

Tabela 7. Resumo do estudo de energia

	Estudo de energia		
	Tempo total / h	Energia total / kWh	Potência média / kW
<b>Centrífuga</b>	210,00	3 736,89	17,82
<b>Filtro prensa</b>	81,58	44,76	0,55

## 5.2.6 CUSTOS

Na comparação dos custos realizou-se uma divisão entre custos de manutenção, operação e custos correntes.

### 5.2.6.1 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Os custos de manutenção, apresentados na Tabela 8, foram estimados para um valor anual e trimestral para cada equipamento.

Verifica-se que a centrífuga apresentaria um custo médio anual de manutenção de 4 243 €, valor mais elevado que o custo anual de manutenção do filtro prensa estimado em cerca de 1 550 €, classificando-o como mais económico.

Tabela 8. Custos de manutenção da centrífuga e do filtro prensa (média trimestral e média anual)

	Tipo de intervenção	Periodicidade	Custos estimados / €	Custo do equipamento por ano / €	Custo do equipamento por trimestre / €	
Centrífuga	Manutenção preventiva principal	1 ano	2 800	4 243	1 061	
	Manutenção Semestral		6 meses			90
	Manutenção corretiva	Travão elétrico	10 anos			5 200
		Revisão do sem-fim	10 anos			2 900
		Revisão do tambor	10 anos			2 700
		Mão de obra engenharia / instrumentista	10 anos			812
Mão de obra mecânica / eletricista	10 anos	1 020				
Filtro prensa	Substituição das telas	2 anos	1 200	1 550	388	
	Substituição do óleo da unidade hidráulica	2 anos	200			
	Substituição do rotor - bomba de lamas	2 anos	1 300			
	Substituição do estator - bomba de lamas	2 anos	400			

### 5.2.6.2 CUSTOS DE OPERAÇÃO

Os custos de operação, representados na Tabela 9, incluem os custos com o consumo de polieletrólito, aluguer do contentor, transporte e deposição da lama.

O custo com polieletrólito difere para os dois equipamentos, atendendo a que apresentam consumos de polieletrólito díspares. Sendo o consumo de polieletrólito da centrífuga mais elevado, o custo anual associado seria maior para este equipamento (4 603 €) do que para o filtro prensa (2 757 €).

Na Tabela 10 verifica-se que o custo anual de operação da centrífuga (83 331 €) seria cerca de 1800 € mais caro o custo anual para o filtro prensa (81 486 €).

Tabela 9. Custos de operação da centrífuga e filtro prensa: polieletrólito, aluguer de contentor, transporte e deposição de lama, relativos ao ano 2020

Ano	Trimestre	Polieletrólito				Transporte e Deposição				Aluguer de contentor			
		Consumo total / kg		Custo total / €		Quantidade de lama / t		Custo total / €		Nº de contentores		Custo total / €	
		Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP
2020	1º	475	282	1 216	723	241	241	19 093	19 093	3	3	330	330
	2º	225	161	576	412	140	140	11 096	11 096	2	2	220	220
	3º	415	272	1 062	696	250	250	19 826	19 826	3	3	330	330
	4º	683	362	1 748	927	347	347	27 504	27 504	3	3	330	330
Anual		1 798	1 077	4 603	2 757	979	979	77 519	77 519	11	11	1 210	1 210

Tabela 10. Custo total de operação da centrífuga e do filtro prensa, relativos ao ano 2020

Ano	Trimestre	Custo total de operação / €	
		Centrífuga	Filtro prensa
2020	1º	20 639	20 145
	2º	11 892	11 728
	3º	21 218	20 851
	4º	29 582	28 761
Anual		83 331	81 486

### 5.2.6.3 CUSTOS CORRENTES

Na Tabela 11, que apresenta os custos de energia para a centrífuga e para o filtro prensa para o ano 2020, verifica-se que a centrífuga teve um custo anual com a energia de 2 570 €, enquanto o filtro prensa teria um custo anual de apenas 192 €.

Tabela 11. Custos correntes da centrífuga e do filtro prensa, relativos ao ano 2020

Ano	Trimestre	Energia			
		Energia / kWh		Custo / €	
		Centrífuga	Filtro prensa	Centrífuga	Filtro prensa
2020	1º	8 047	565	616	43
	2º	4 367	329	334	25
	3º	8 537	521	653	40
	4º	12 627	1 090	966	83
Anual		33 578	2 506	2 570	192

#### 5.2.6.4 CUSTOS TOTAIS

Na Tabela 12 encontra-se o resumo de todos os custos para os dois tipos de equipamento, para o ano de 2020.

No total, o custo anual com a centrífuga foi mais elevado, com um valor médio de 90 144 €, em comparação com os 83 228 € do filtro prensa.

O filtro prensa apresentou menor custo, com uma diferença de aproximadamente 7 000 € por ano, relativamente à centrífuga.

Tabela 12. Resumo dos custos totais com a centrífuga e o filtro prensa, relativos ao ano 2020

Ano	Trimestre	Custos de manutenção / €		Custos de operação / €		Custos correntes / €		Custos totais / €	
		Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP	Cent	FP
2020	1º	1 061	388	20 639	20 145	616	43	22 315	20 576
	2º	1 061	388	11 892	11 728	334	25	13 287	12 141
	3º	1 061	388	21 218	20 851	653	40	22 932	21 279
	4º	1 061	388	29 582	28 761	966	83	31 609	29 232
	Anual	4 243	1 550	83 331	81 486	2 570	192	90 144	83 228

## 6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Com a realização desta dissertação foi possível realizar uma avaliação da eficiência de operação e rentabilidade económica dos dois tipos de equipamentos de desidratação instalados na ETA X, de modo a otimizar os diversos parâmetros de funcionamento e avaliar o desempenho de secagem e os respetivos custos associados.

Na desidratação de lama com o filtro prensa, monitorizaram-se diversos parâmetros operacionais na tentativa de alcançar a melhor eficiência de operação do processo.

Nesta avaliação observou-se uma redução do volume de lama alimentado por ciclo e tempo de enchimento, perante valores mais elevados de caudal e concentração de lama alimentada ao equipamento.

Em termos de percentagem de matéria seca da lama desidratada, obtiveram-se valores entre 16 % e 28 %, percentagens mais baixas que as mencionadas na literatura (de 30 % a 50 %).

Ainda relativamente a este parâmetro, constatou-se que o tempo de secagem não otimizou o processo de desidratação, razão pela qual não foi considerado na restante análise de resultados.

Os melhores valores de percentagem de matéria seca obtiveram-se para o caudal de lama de 2,5 m<sup>3</sup>/h. Neste caudal, os ciclos com maior concentração da lama da cisterna de equalização apresentaram um aumento na percentagem de matéria seca na lama desidratada.

Em relação à turvação do sobrenadante, verificaram-se valores mais altos nos ensaios correspondentes a maiores concentrações da lama da cisterna de equalização e superior caudal de lama alimentado. No entanto, como os valores obtidos foram dispare, com valores a variar entre 57 e 457, as conclusões não são muito eloquentes.

Relativamente ao estudo desenvolvido para a comparação da eficiência da centrífuga e do filtro prensa, observou-se um desempenho semelhante nos resultados de percentagem de matéria seca na lama desidratada e turvação do sobrenadante.

No que diz respeito ao volume de lama alimentado aos dois equipamentos, no mesmo período de tempo, a centrífuga desidratou  $(15,61 \pm 4,25) \text{ m}^3$ , enquanto o filtro prensa apenas desidratou  $(6,07 \pm 0,88) \text{ m}^3$ .

Quanto ao consumo de polieletrólito, o filtro prensa apresentou uma taxa de tratamento de polieletrólito de  $(5,08 \pm 1,88)$  kg/t, menor que a taxa de tratamento da centrífuga  $((13,49 \pm 2,03)$  kg/t).

De salientar que no cálculo da taxa de tratamento da centrífuga foram assumidos valores do software de gestão de operação, que requer otimização ao nível da grandeza da unidade de medida da contabilização do volume do polieletrólito.

Em termos de consumo de energia, o filtro prensa apresentou melhores resultados (2 507 kWh), comparativamente com a centrífuga (33 578 kWh).

Na comparação dos custos totais (manutenção, operação e custos correntes), o filtro prensa apresentou menor valor anual (83 228 €) em relação aos custos anuais apurados para a centrífuga (90 144 €).

Em resumo, o filtro prensa apresenta vantagens em termos de consumo de polieletrólito, energia e custos totais.

Face aos resultados inconclusivos da percentagem de matéria seca da lama desidratada e da turvação no sobrenadante, propõe-se a continuidade dos ensaios para a melhoria da eficiência do filtro prensa, com vista à diferenciação dos dois equipamentos relativamente a estes dois parâmetros.

## REFERÊNCIAS

- [1] Águas do Norte, «Tratamento de água», *Águas do Norte*. <http://www.adnorte.pt/pt/educacao-ambiental/ciclo-urbano-da-agua/tratamento-de-agua/?id=115> (acedido Mar. 06, 2021).
- [2] ALLONDA, «Desidratação e secagem do lodo: o que são e qual a importância?», *ALLONDA*. <https://allonda.com/blog/gestao-de-residuo/desidratacao-e-secagem-do-lodo-o-que-sao-e-qual-a-importancia/> (acedido março 2021).
- [3] M. M. F. dos Ramos, «Análise Comparativa de Sistemas de Desidratação para ETAR Caso de Estudo: Centrífugas versus Filtros banda», Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- [4] J. C. Gonçalves, «Análise das tecnologias correntes para o tratamento e secagem de lamas de ETAR», Universidade de Coimbra, 2017.
- [5] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, 5.ª ed. New York: McGraw-Hill, 1979.
- [6] European Commission, «Disposal and recycling routes for sewage sludge–Part 3–Scientific and technical sub-component report», 2001.
- [7] American Water Works Association e American Society of Civil Engineers, *Water Treatment Plant Design*, 4.ª ed. McGraw-Hill, 2005.
- [8] I. S. Turovskiy e P. K. Mathai, *Wastewater sludge processing*, John Wiley. New Jersey, 2006.
- [9] Águas do Norte, «Águas do Norte», *Águas do Norte*. <http://www.adnorte.pt/> (acedido Mar. 06, 2021).
- [10] Águas do Norte, «Quem somos», *Águas do Norte*. <http://www.adnorte.pt/pt/aguas-do-norte/quem-somos/?id=5> (acedido Mar. 06, 2021).
- [11] Diário da República, «Aviso n.º 997/2020 - Regulamento do Serviço de Abastecimento de Água e do Serviço de Saneamento de Águas Residuais.», 2020.
- [12] Águas do Algarve, «Lamas de ETA», *Águas do Algarve*, 2018. <https://www.aguasdoalgarve.pt/content/lamas-de-eta> (acedido Mar. 06, 2021).
- [13] Agência Portuguesa do Ambiente, «Guia de Classificação de Resíduos», 2020.
- [14] C. V. Andreoli *et al.*, *Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos*. 2001.
- [15] T. Ahmad, K. Ahmad, e M. Alam, «Sustainable management of water treatment sludge through 3 ' R ' concept», *J. Clean. Prod.*, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.02.073.
- [16] L. A. S. Miranda e L. O. Monteggia, *Sistemas e processos de tratamento de águas de*

- abastecimento*. Porto Alegre: ReCESA, 2007.
- [17] M. T. Tsutiya, *Abastecimento de água*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- [18] N. Abreu, «Da captação à distribuição, o caminho que a água faz até nossas casas», *Autossustentável - sustentabilidade ao alcance de todos*, 2017. <https://autossustentavel.com/2017/03/estacao-tratamento-agua-eta.html> (acedido Out. 07, 2021).
- [19] D. C. G. S. Michelin, I. F. Batista, D. F. Batista, D. de G. Santos, L. C. Mendonça, e D. M. F. Lima, «Desempenho das etapas de tratamento de água da estação de tratamento de água Poxim», *Sci. CUM Ind.*, vol. 7, n. 3, p. 7, 2019.
- [20] A. M. C. F. Gomes, «Análise da evolução da qualidade da água do rio Cávado na última década e respetivos impactes na operação da ETA de Areias de Vilar», 2016.
- [21] C. Roschild, «Tratamento de Água». 2016.
- [22] F. Marques, «O que é e para que serve a filtração no tratamento de água?», *acquasolution*. <https://acquablog.acquasolution.com/o-que-e-e-para-que-serve-a-filtracao-no-tratamento-de-agua/> (acedido Out. 29, 2021).
- [23] EPAL, «Ficha informativa - Cloro», 2015.
- [24] W. Ferreira, «Eficácia da água ozonizada no controle de microrganismos em morango ( *Fragaria x ananassa Duch.*) e efeito na qualidade físico-química durante o armazenamento», 2017.
- [25] Equipos Biomédicos Profesionales, «Desinfección con luz Ultravioleta.», *Autoclaves.com*. <https://autoclaves.com.mx/desinfeccion-con-luz-ultravioleta/> (acedido Out. 20, 2021).
- [26] Vimágua, «Glossário», *Vimagua.pt*. <https://www.vimagua.pt/s/48> (acedido Out. 22, 2021).
- [27] Blogsadm, «Estações de dessalinização – uso do CO2 no processo de remineralização», *Nippon Gases The Gas Professionals*, 2017. <https://blogs.nippongases.es/pt/blog/plantas-desaladoras-y-uso-del-co2-en-el-proceso-de-remineralizacion/> (acedido Out. 22, 2021).
- [28] Sludge Processing, «Introduction to sludge thickening», *Sludge Processing*, 2020. <https://www.sludgeprocessing.com/sludge-thickening/introduction-to-sludge-thickening/> (acedido Nov. 10, 2021).
- [29] R. J. V. De Sousa, «Estratégias de gestão de lamas das Estações de Tratamento de Águas Residuais ( ETAR ). Extrusão de lamas para aplicação na agricultura», Universidade do Porto, 2005.
- [30] Sludge Processing, «Introduction to sludge dewatering», *Sludge Processing*, 2020.

<https://www.sludgeprocessing.com/sludge-dewatering/introduction-to-sludge-dewatering/>  
(acedido Nov. 10, 2021).

- [31] SNF Floerger, «Sludge dewatering», *Gutenberg on line Regions*. 2003.
- [32] O. P. Pereira, «Águas Cávado, SA A Estação de Tratamento de Água de Areias de Vilar», n. 1, pp. 1–11, 1998.
- [33] Diemme, *Filtro-prensa «Automat» - Instruções de montagem, uso e Manutenção*. .
- [34] Alfa Laval, *Manual Centrífuga ALFA LAVAL NX 4555*. .
- [35] Metrohm, «Balanças Sartorius Moisture (MA)». <https://www.metrohm.com/pt-br/produtos-geral/balancas-sartorius/ma/>.
- [36] Cadmus, «Hach 2100Q Portable Turbidimeter». <https://cadmus.co.uk/hach-2100q-portable-turbidimeter#product.info.specification>.
- [37] Mettler Toledo, «Quick and Reliable Measurements for Results at your Fingertips».

## Anexo I CARATERÍSTICAS TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS

### i. FILTRO PRENSA

Tabela I. Caraterísticas Técnicas do Filtro Prensa *DIEMME* Automat [33]

Filtro prensa			
	Marca		<i>DIEMME</i>
	Modelo		<i>Automat</i>
	Especificações elétricas	Tipo de extensão	3 fases + terra
	Conjunto pneumático	Pressão / bar	8 a 10
Central hidráulica	Potência / kW		0,75 ou 1,5
	Caudal máximo / (L/min)		10 ou 20
	Caudal mínimo / (L/min)		1 ou 1,6
	Capacidade do reservatório /L		36 ou 47
	Pressão nominal / bar		300
	Pressão de vistoria / bar		350
Macaco hidráulico	Em impulso	Pressão nominal / bar	300
		Pressão de vistoria / bar	400
		Pressão máxima / bar	350
	Em recuo	Pressão nominal / bar	50
		Pressão de vistoria / bar	100
		Pressão máxima / bar	75

## ii. CENTRÍFUGAS

Tabela II. Características Técnicas da Centrífuga ALFA LAVAL NX 4555 [34]

Centrífuga		
	Marca	ALFA LAVAL
	Modelo	NX4555
	Caudal volúmico máximo	25 m <sup>3</sup> /h
	Caudal de alimentação em ponta	600 kg/h SS a 30 g/L
	Caudal de alimentação nominal	450 kg/h SS a 30 g/L
Resultados com adição de polieletrólito (6 kg/t SS)	SS na lama desidratada	18 % (com alimentação a 20 g/L)
	SS na fase clarificada	20 % (com alimentação a 30 g/L)
Vibrações		< 5 mm/s
Diâmetro do tambor		450 mm
Relação comprimento/diâmetro do tambor		4:24
Angulo cónico		8,5°
Potência absorvida máxima		33 kW/máquina a 450 Kg SS/h
Nível sonoro a 1 metro do grupo		81 dB(A) máximo
Caixa redutora	Relação	1:1:97
	Binário	3 KNm máximo
Velocidade diferencial máxima		28 min <sup>-1</sup>
Motor	Potência nominal	37 kW
	Velocidade rotação	1500 min <sup>-1</sup>
	Alimentação	TRI-400-50 Hz
	Proteção	IP55
	Classe de isolamento	F

### iii. BALANÇA DE HUMIDADE

Tabela III. Características Técnicas da balança de humidade *Sartorius* MA35 [35]

Balança de humidade			
	Marca	<i>Sartorius</i>	
	Modelo	MA35	
	Capacidade	35 g	
	Precisão	1 mg	
	Repetibilidade	amostra iniciando em 1 g	$\pm 0,2 \%$
		amostra iniciando em 5 g	$\pm 0,05 \%$
Faixa de temperatura		40 a 160 °C	

### iv. TURBIDÍMETRO

Tabela IV. Características Técnicas do turbidímetro *Hach* 2100Q [36]

Turbidímetro		
	Marca	<i>Hach</i>
	Modelo	2100Q
	Gama	0 a 1000
	Precisão	$\pm 2\%$ da leitura, mais luz dispersa de 0 a 1000
	Repetibilidade	$\pm 1\%$ da leitura ou 0,01 (o que for maior)
	Resolução	0,01 na faixa mais baixa

### v. MEDIDOR DE pH

Tabela V. Características Técnicas do medidor de pH *METTLER TOLEDO* *SevenGo* [37]

Medidor de pH		
	Marca	<i>METTLER TOLEDO</i>
	Modelo	<i>SevenGo</i>
	Gama	0,00 a 14,00
	Precisão	$\pm 0,01$
	Resolução	0,01

## Anexo II INSTRUÇÕES DE TRABALHO

Neste anexo são apresentadas todas as instruções de trabalho para a operação da linha sólida, que incluem a recolha de amostras em cada uma das etapas, análises laboratoriais e funcionamento dos equipamentos de secagem (filtro prensa e centrífuga).

### i. PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM

#### A. Estação Elevatória de Lamas

A lama de cal (resultante da produção de água de cal) e a lama decantada (resultante do processo de decantação) são encaminhadas e misturadas na estação elevatória de lamas.

##### A.1 Lama de cal

A recolha da amostra de lama de cal realizou-se na entrada da estação elevatória de lamas, para posterior monitorização do parâmetro concentração de lama de cal.

O procedimento de amostragem é apresentado na Tabela VI.

Tabela VI. Procedimento de amostragem de lama de cal

<p>1. Na supervisão dar ordem de arranque às bombas de elevação de lama de cal para a estação elevatória de lamas.</p> 	<p>2. Com auxílio de um recipiente de amostragem, recolher a amostra de lama de cal e verter para o frasco de amostragem.</p> 	<p>3. Na supervisão dar ordem de paragem das bombas de elevação de lama de cal para a estação elevatória de lamas.</p>
--	---	--

##### A.2 Lama decantada

A recolha da amostra de lama dos decantadores realizaram-se nas 4 purgas do fundo de cada um dos decantadores da instalação, fazendo-se uma amostra composta para posterior análise de concentração.

O procedimento de amostragem é apresentado na Tabela VII.

Tabela VII. Procedimento de amostragem de lama decantada

<p>1. Abrir o passador manual da tubagem de purga.</p> 	<p>2. Após alguns segundos de abertura da válvula, recolher cerca de 10 mL de amostra para uma proveta de 10 mL.</p> 	<p>3. Fechar o passador manual.</p> 
<p>4. Verter o volume recolhido para o frasco de amostra composta.</p> 	<p>5. Repetir o procedimento de 1 a 4 para as 4 válvulas de purga de cada um dos 4 decantadores da instalação (amostra composta resultante de 16 amostras de 10 mL de lama).</p>	

## B. Espessadores

Nos espessadores efetuou-se a recolha de amostra do sobrenadante para posterior análise dos parâmetros turvação e pH.

O procedimento de amostragem é apresentado na Tabela VIII.

Sempre que se realizou a amostragem de sobrenadante no espessador, efetuou-se também, no local, a monitorização da altura de sobrenadante, procedimento apresentado na Tabela IX.

Tabela VIII. Procedimento de amostragem de sobrenadante do espessador

<p>1. Na instalação existem 2 espessadores. Realizar a amostragem nos espessadores em funcionamento.</p>	<p>2. Parar o agitador, pressionando o botão de emergência.</p> 	<p>3. Colocar o frasco de amostragem aberto, preso por uma corda, dentro do espessador.</p> 
--	---	---

Tabela VIII. Procedimento de amostragem de sobrenadante do espessador – Continuação.

<p>4. Recolher uma amostra da superfície do sobrenadante.</p>	<p>5. Retirar o frasco.</p> 	<p>6. Verter a amostra do sobrenadante para o frasco de amostragem.</p> 
<p>7. Ligar o agitador do espessador, pressionando o botão de emergência, rodando-o ligeiramente no sentido do ponteiro do relógio e soltando-o.</p> 		

Tabela IX. Monitorização da altura de sobrenadante do espessador

<p>1. Na instalação existem 2 espessadores. Realizar a monitorização nos espessadores em funcionamento.</p>	<p>2. Parar o agitador, pressionando o botão de emergência.</p> 	<p>3. Fechar o frasco com a respetiva rolha (que se encontra presa a uma corda diferente da do frasco).</p> 
<p>4. Colocar o frasco de amostragem dentro do espessador, descendo-o lentamente até que toque no manto de lamas.</p> 	<p>5. Retirar a rolha (puxando a corda) e deixar o frasco encher.</p> 	<p>6. Retirar o frasco de amostragem para o exterior e verificar se ficou cheio com lama.</p> 

Tabela IX. Monitorização da altura de sobrenadante do espessador - Continuação

<p>7. Repetir o procedimento de 3 a 6 até que a amostra recolhida seja lama.</p> 	<p>8. Esticar a corda para verificar a parte que foi submersa.</p> 
<p>9. Com o frasco deitado, medir a distância da corda submersa até ao gargalo do frasco.</p> 	<p>10. Ligar o agitador do espessador, pressionando o botão de emergência, rodando-o ligeiramente no sentido do ponteiro do relógio e soltando-o.</p> 

### C. Cisterna de Equalização de Lamas

Na cisterna de equalização de lamas recolheu-se uma amostra de lama para análise da concentração e do pH.

O procedimento de amostragem encontra-se na Tabela X.

Tabela X. Procedimento de amostragem de lama da cisterna de equalização

<p>1. Abrir o passador manual da tubagem de amostragem de lamas, localizada na tubagem de saída de lama da cisterna de equalização de lamas para a desidratação.</p> 	<p>2. Após alguns segundos de abertura, recolher uma amostra da lama.</p> 
--	--

#### D. Centrífugas

Nas centrífugas fez-se a recolha da amostra da lama desidratada para análise da matéria seca e a recolha do sobrenadante para análise da turvação.

A lama desidratada recolheu-se no contentor de armazenamento, posicionado debaixo da centrífuga (Figura I e Figura II). O sobrenadante recolheu-se na torneira de amostragem (Figura III e Figura IV).



Figura I. Contentores da lama desidratada da centrífuga.



Figura III. Torneira de amostragem do sobrenadante da centrífuga.



Figura II. Recolha da lama desidratada da Centrífuga.



Figura IV. Recolha do sobrenadante da Centrífuga.

No momento em que se fizeram estas recolhas registaram-se alguns parâmetros operacionais do processo, tais como: diferencial, torque, caudal de lamas e caudal de polieletrólito.

#### E. Filtro prensa

No filtro prensa fez-se a recolha do sobrenadante (análise da turvação) e de lama desidratada (análise da matéria seca).

A amostragem de sobrenadante fez-se na tubagem que direciona o sobrenadante para a caleira de recolha (Figura V) durante a etapa de enchimento do filtro prensa.

No instante da recolha do sobrenadante registaram-se parâmetros operacionais, tais como: pressão, caudal de lamas e caudal de polieletrólito.



Figura V. Recolha do sobrenadante do Filtro Prensa.

A lama desidratada foi recolhida diretamente das placas após abertura do filtro (como representado na sequência de imagens da Figura VI).



Figura VI. Recolha de amostra da lama desidratada do Filtro Prensa: a) e b) Recolha de amostra diretamente da placa; c) Amostra de lama desidratada.

## ii. PROCEDIMENTO DAS ANÁLISES LABORATORIAIS

### A. Concentração da lama

Após a recolha da lama de cal, lama decantada e lama da cisterna procedeu-se à análise da concentração de cada amostra, numa balança de humidade *Sartorius MA35* (Anexo I - C), de acordo com o seguinte procedimento (sequência de imagens da Figura VII):

1. Ligar o equipamento pressionando a tecla  . A balança realiza auto verificação. O equipamento assume a unidade de medida g.
2. Abrir a comporta da câmara de amostra.
3. Colocar o prato que se vai utilizar para fazer a análise dentro da câmara de amostra, vazio.
4. Fechar a comporta da camara de amostra, verificando se na barra inferior do visor aparece TAR sublinhado. Caso não apareça, pressionar as “setas” até que apareça a palavra TAR.



5. Pressionar a tecla **ENTER** para confirmar a realização da TARA.
6. Abrir a comporta da câmara de amostra.
7. Colocar cerca de 2 a 5 g de amostra sobre o prato.
8. Fechar a comporta da camara de amostra.
9. Com as “setas”, selecionar a unidade pretendida:
  - % M - Humidade
  - % S – Massa seca
  - % MS – Relação
  - g – Resíduo
10. Para amostras de lamas de cal, lamas decantadas e lamas da cisterna de equalização selecionar g.
11. Registrar o peso inicial (em gramas).
12. Inicia-se a contagem do tempo de secagem, aparecendo no canto superior do *display*.
13. No final da análise, no visor aparece *END* e o resultado.
14. Registrar o peso final (em gramas).

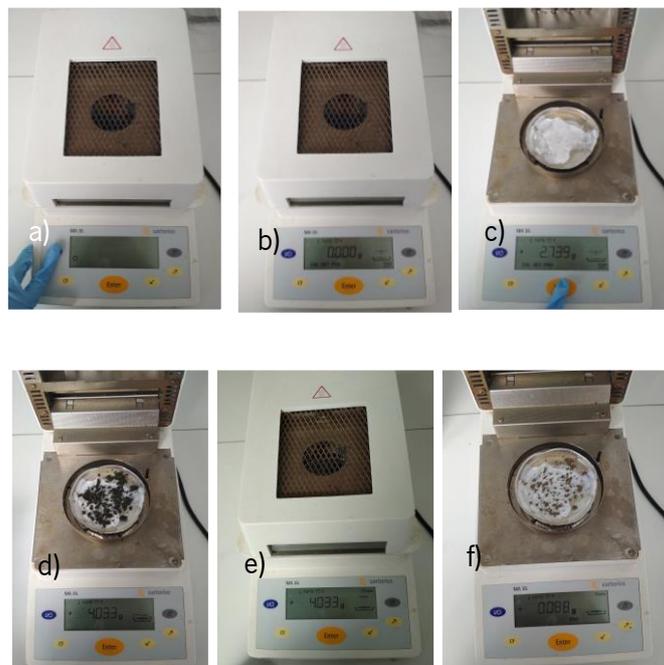


Figura VII. Procedimento da análise da concentração de lama: a) e b) Ligar a balança; c) Colocar o prato e fazer a tara; d) Colocar a amostra de lama; e) Fechar a balança; f) Resultado.

A concentração da lama calculou-se segundo a (Equação 19):

$$C_{\text{Lama}} = \frac{m_F}{m_I} \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

$C_{\text{Lama}}$  / (g/L) – Concentração da lama

$m_F$  / g – Massa de lama final

$m_I$  / kg – Massa de lama inicial

No cálculo assumiu-se que: 1 kg de amostra = 1 L de amostra.

#### B. Percentagem de matéria seca na lama desidratada

Após a recolha da lama desidratada da centrífuga e do filtro prensa procedeu-se à análise da percentagem de matéria seca de cada amostra, utilizando uma balança de humidade *Sartorius MA35*, de acordo com o seguinte procedimento (sequência de imagens da Figura VIII):

1. Ligar o equipamento pressionando a tecla . A balança realiza a auto verificação. O equipamento assume a unidade de medida g.
2. Abrir a comporta da câmara de amostra.
3. Colocar o prato que se vai utilizar para fazer a análise dentro da câmara de amostra, vazio.
4. Fechar a comporta da camara de amostra, verificando se na barra inferior do visor aparece TAR sublinhado. Caso não apareça, pressionar as “setas” até que apareça a palavra TAR.



5. Pressionar a tecla **ENTER** para confirmar a realização da TARA.
6. Abrir a comporta da câmara de amostra.
7. Colocar cerca de 2 a 5 g de amostra sobre o prato.
8. Fechar a comporta da camara de amostra.
9. Com as “setas”, selecionar a unidade pretendida:
  - % M - Humidade
  - % S – Massa seca
  - % MS – Relação
  - g – Resíduo
10. Para lama desidratada selecionar % S.

11. Inicia-se a contagem do tempo de secagem, aparecendo no canto superior do display.

12. No final da análise, no visor aparece **END** e o resultado.

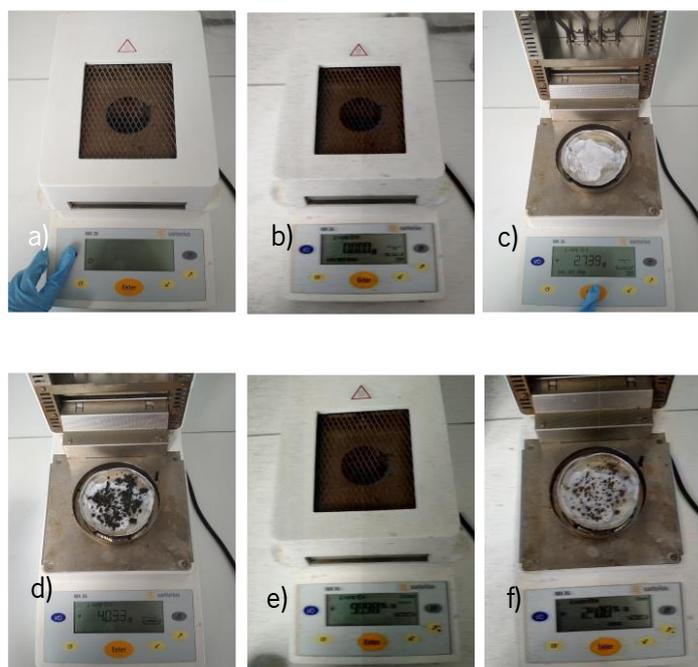


Figura VIII. Procedimento da análise da percentagem de matéria seca na lama desidratada: a) e b) Ligar a balança; c) Colocar o prato e fazer a tara; d) Colocar a amostra de lama desidratada; e) Fechar a balança; f) Resultado.

### C. Turvação do sobrenadante

Após a recolha do sobrenadante do espessador, da centrífuga e do filtro prensa procedeu-se à análise da turvação de cada amostra, num turbidímetro *Hach 2100Q*, de acordo com o seguinte procedimento (sequência de imagens da Figura IX):

1. Ligar o equipamento pressionando a tecla ;
2. Agitar o frasco de amostragem;
3. Verter a amostra para uma cuvete de leitura, lavando-a previamente com água destilada;
4. Introduzir a cuvete no interior da câmara de leitura, fechando a respetiva tampa;
5. Pressionar a tecla **LER**. Após alguns segundos, o valor de turvação lido aparecerá no display;

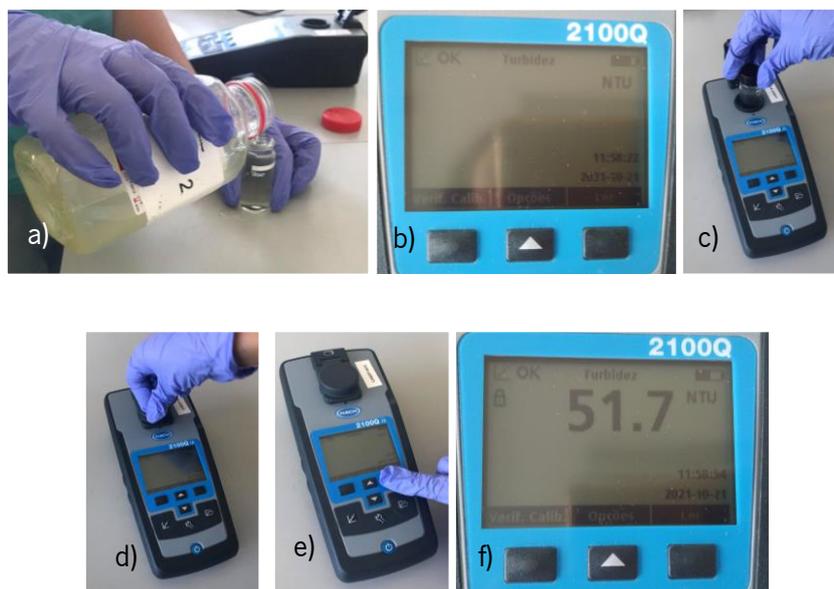


Figura IX. Procedimento da medição da turvação do sobrenadante: a) Verter a amostra para a cuvete de leitura; b) Ligar o turbidímetro; c) e d) Introduzir a cuvete no interior da câmara de leitura, fechando a respetiva tampa; e) Pressionar a tecla LER; f) Resultado.

#### D. pH do sobrenadante

Após a recolha do sobrenadante do espessador e da lama da cisterna de equalização procedeu-se à análise do pH de cada amostra, num medidor de pH *METTLER TOLEDO SevenGo*, de acordo com o procedimento (sequência de imagens da Figura X):

1. Ligar o equipamento pressionando a tecla  ;
2. Passar o sensor por água destilada e secar cuidadosamente com papel;
3. Colocar o sensor dentro do frasco da amostra;
4. Agitar ligeiramente o sensor;
5. Pressionar a tecla *Read*;
6. No final da análise, aparece no ecrã  $\sqrt{A}$  e o resultado;



Figura X. Procedimento da medição do pH do sobrenadante: a) Colocar a sonda dentro do frasco da amostra; b) Ler o valor do pH; c) Resultado.

### iii. FUNCIONAMENTO DO FILTRO PRENSA

#### A. Enchimento

Cada ciclo do filtro prensa começou com a fase de enchimento, procedimento que se encontra descrito de seguida:

1. No quadro local do filtro prensa (Figura XI), rodar o comutador "ON/OFF" no sentido dos ponteiros do relógio, da posição horizontal para a vertical ("ligado").



Figura XI. Quadro do filtro prensa.

2. Colocar os seguintes comutadores nas posições indicadas (Figura XII):
  - o Comutador 1 (vasilha de recolha de gotas): posição 1 (direcionar o comutador para o lado direito);
  - o Comutador 3 (bomba de lama): posição 1 (direcionar o comutador para o lado direito);
  - o Comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto): posição 1 ("fechado") (direcionar o comutador para o lado esquerdo).



Figura XII. Comutador 1, 2 e 3 na posição 1.

3. Pressionar o botão “restabelecimento dos circuitos”.
4. Verificar o caudal de lama alimentada ao filtro prensa (Figura XIII) (equipamento localizado na sala dos quadros elétricos do edifício das lamas).



Figura XIII. Caudal de lama do filtro prensa.

5. Verificar se o caudal de polieletrólito alimentado ao filtro prensa está no valor pretendido (Figura XIV) (equipamento localizado na consola da centrífuga).

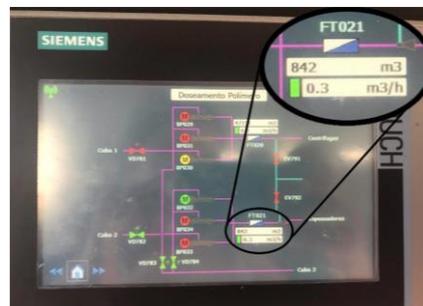


Figura XIV. Caudal de polieletrólito do filtro prensa.

6. Ajustar o caudal de lamas e de polieletrólito rodando os potenciômetros localizados na consola da centrífuga (Figura XV).

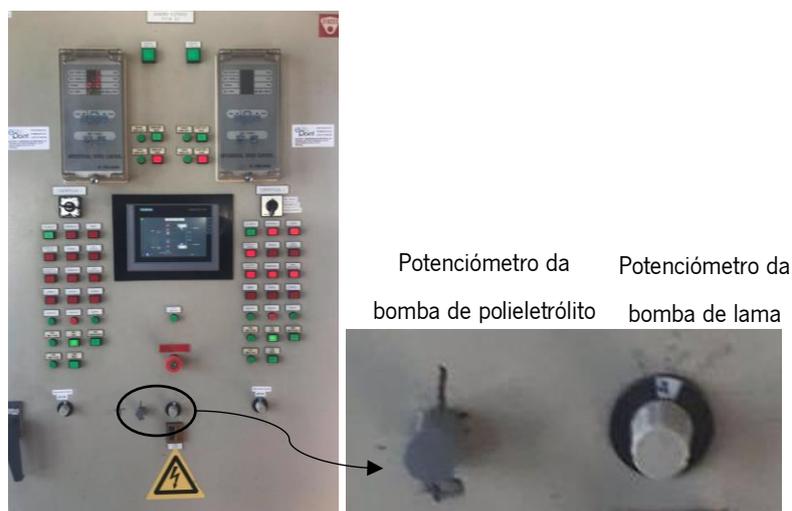


Figura XV. Potenciômetro da bomba de lamas e da bomba de polieletrólito do filtro prensa.

7. Ir verificando a pressão do manómetro que controla a pressão no interior das placas do filtro prensa (Figura XVI). Quando este manómetro atinge os 11,5 bar, o equipamento desliga automaticamente as bombas de alimentação de lamas e de polieletrólito.



Figura XVI. Manómetro da pressão da bomba de lamas.

8. Colocar o filtro prensa em *stand by*, colocar o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 0 (“*stand by*”) (Figura XVII).



Figura XVII. Comutador 2 na posição 0.

9. A pressão do manómetro anteriormente referido decresce até atingir 0 bar. Este processo demorara cerca de 15 min, período durante o qual escorre o sobrenadante das telas.
10. Abrir o filtro prensa seguindo o procedimento de Abertura .

#### B. Abertura

1. Após o período de 15 min, despressurizar o manómetro que controla a pressão do macaco hidráulico (localizado por cima do quadro do filtro prensa). Colocar o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 2 (“aberto”).

- A pressão do manómetro diminui de 300 bar para 0 bar e as placas deslocam-se ligeiramente, libertando o restante sobrenadante da tubagem.
2. Para iniciar a abertura das placas:
    - Colocar o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 0 (“*stand by*”).
    - Colocar o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 2 (“aberto”).
  3. A vasilha de recolha de gotas, localizada por baixo das placas do filtro prensa, abre.
  4. As placas do filtro prensa afastam-se uma a uma automaticamente.
  5. Verificar se não fica nenhuma “bolacha” de lama presa à placa. Caso aconteça realizar o seguinte procedimento:
    - Parar a abertura das placas, colocando o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 0 (“*stand by*”);
    - Com o auxílio de uma espátula, retirar a lama presa;
    - Reiniciar a abertura das placas, colocando o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 2 (“aberto”).
  6. Após abertura de todas as placas, caso se pretenda iniciar um novo ciclo, repetir o procedimento de Enchimento de 4 a 10.
  7. Para desligar o filtro prensa:
    - Colocar o comutador 2 (fechado/ *stand by*/aberto) na posição 0 (“*stand by*”);
    - Rodar o comutador “*ON/OFF*” no sentido anti-horário, da posição vertical para a horizontal (“desligado”).

Nota: Sempre que o filtro prensa não responder de imediato perante uma ordem de comando, pressionar o botão de restabelecimento dos circuitos.

## IV. FUNCIONAMENTO DA CENTRÍFUGA

### A. Ligar

1. Antes de arrancar com a centrífuga, na consola da centrífuga (Figura XVIII), clicar no botão  de forma a seleccionar o modo de funcionamento “diferencial”.
2. Verificar o valor de diferencial apresentado para este modo de funcionamento no *SET POINT*. Caso seja diferente de 20 min<sup>-1</sup>, com as teclas *SET POINT* ▼ e ▲, ajustar para o valor pretendido.
3. Na supervisão, dar ordem de arranque à centrífuga que se pretende operar.

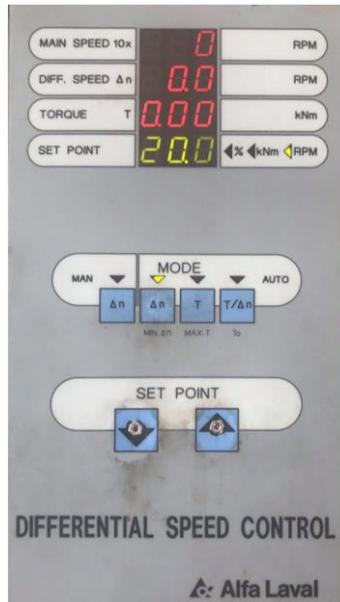


Figura XVIII. Consola da centrífuga.

4. Após 3 min do arranque ajustar o diferencial da centrífuga, na consola do edifício das lammas:
  - Ajustar faseadamente, de  $20 \text{ min}^{-1}$  até cerca de 3 a  $4,5 \text{ min}^{-1}$ ;
  - Ir diminuindo  $2 \text{ min}^{-1}$  ao diferencial, com as teclas *SET POINT* ▼ e ▲;
  - Após cada redução do diferencial, o valor do torque aumenta. Aguardar que o valor de torque estabilize antes de voltar a reduzir o diferencial.
  - Na redução gradual do diferencial, o torque não deve ultrapassar o valor de *SET POINT* definido para cada centrífuga. Para visualizar o valor parametrizado para cada um dos equipamentos, seleccionar a tecla T na consola. Visualizar o *SET POINT* do torque no respetivo *display*.
  - Caso não se consiga ajustar o valor do torque para o valor do *SET POINT* definido, reduzir ao caudal de lama alimentado à centrífuga, rodando o potenciómetro disponível junto à consola (Figura XIX). Este ajuste de caudal também deve ser faseado, cerca de  $0,5 \text{ m}^3$  de caudal de lama.
5. Durante o tempo de funcionamento da centrífuga, ir verificando os valores de torque e diferencial para que a centrífuga não entre em sobrecarga.
6. Visualizar a qualidade do sobrenadante e da lama desidratada, para ajustar o doseamento de polieletrólito em conformidade.

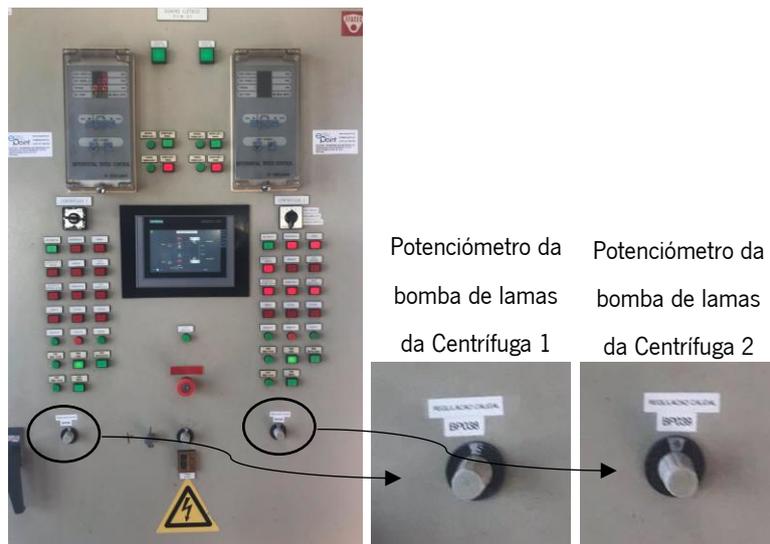


Figura XIX. Potenciômetros da bomba de lamas das centrífugas.

## B. Desligar

### 1. Estabelecer os parâmetros iniciais:

- No edifício das lamas, colocar o diferencial em  $20 \text{ min}^{-1}$ : Ir subindo  $2 \text{ min}^{-1}$  ao diferencial de 2 em 2 min, com as teclas *SET POINT* ▼ e ▲.
- Na supervisão, dar ordem de paragem à centrífuga. Perante este comando, a bomba de alimentação de lama à centrífuga entra em lavagem durante 5 min, período após o qual entra em lavagem a centrífuga, durante 30 min.

## Anexo III REGISTO OPERACIONAL E CONTROLO ANALÍTICO DA LINHA SÓLIDA

Tabela XI. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga)

Data	Hora	Estação Elevatória de Lamas		Espessador			Cisterna de Equalização de Lamas		Centrífuga						
		Lamas de Cal	Lamas decantadores	Sobrenadante			Lama da cisterna		Lama desidratada		Sobrenadante	Dados			
		Concentração / (g/L)	Concentração / (g/L)	pH	Turvação	Altura / m	Concentração / (g/L)	pH	Porcentagem de matéria seca / %		Turvação / NTU	Diferencial / rpm	Torque / kNm	Caudal de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)
Amostra 1	Amostra 2														
27.04	15:30	32,279	6,729	8	30,5	0,05	15,903	8,3	16,81	17,9		4	1,5	7	1
28.04	16:05	17,975	7,942	7,82	54,5	0,45	12,362	8,06	17,31		165	3,5	1,1	6,5	1,3
29.04	10:50	31,690	4,533	8,08	27,3		13,281	8,26	18,18		161	3	1,44	6,8	1,3
30.04	11:21	45,402	2,041	7,88	20,5		9,858	7,96			162	5,3	1,61	6,9	1,3
04.05	11:22	35,409	4,906	7,95	28,6		8,497	8,28	18,22		172	3,2	1,3	7,2	1,3
05.05	16:19	7,308	6,189	8,56	29		12,799				196	3,2	1,3	6,6	1,3
06.05	11:37	29,705	4,097	8,49	29,7		8,895	8,59	19,78	20,06	179	3,1	1,5	7,1	1,3
	18,84								18,7	198					
07.05	16:05	5,797	4,503	8,65	35,1		12,878	8,08							
10.05	15:37	13,753		8,27	32,4		14,058	8,6	18,64		195	3	1,23	7	1,1
11.05	16:24		5,581	8,05	31,7		10,433	8,5	19,82			4	1,43	7,6	1,1
12.05	17:05	11,346	5,332	8,35	32,5		8,120	8,08			256	3,5	0,85	6,6	1,2
13.05	12:09	11,366	6,428	8,37	33,6		5,065	8,01	16,35		523	4,1	1,45	7,9	1,1
	18,55									188					
14.05	15:30	42,088	5,922	8,12	186		11,501	8	17,6		187	3	1,05	6,8	1,1
	20,24									207					
17.05	12:11	43,926	1,649	8,22	42,6	2,3	12,668	7,88	18,02		223	4	1,71	7,4	1,1
18.05	16:25	29,450	4,483	8,32	37,9	2,85	10,248	7,83	17,76		210	3,5	1,25	7,1	1,2

Tabela VIII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga) - Continuação

Data	Hora	Estação Elevatória de Lamas		Espessador			Cisterna de Equalização de Lamas		Centrífuga						
		Lamas de Cal	Lamas decantadores	Sobrenadante			Lama da cisterna		Lama desidratada		Sobrenadante	Dados			
		Concentração / (g/L)	Concentração / (g/L)	pH	Turvação / NTU	Altura / m	Concentração / (g/L)	pH	Percentagem de matéria seca / %		Turvação / NTU	Diferencial / rpm	Torque / kNm	Caudal de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)
				Escala Sorensen				Escala Sorensen	Amostra 1	Amostra 2					
19.05	14:10	5,456	0,437	8,32	34	2,2									
21.05	15:30	7,434	1,050	8,32	32,5	1,95	12,753	7,72							
25.05	12:20	15,799	4,239	8,40	42,5	1,7	8,591	7,92	19,73	19,08	208	3,3	1,15	6,5	1,3
26.05	15:20	4,788	5,977	8,72	60,3	1,8	15,629	7,91	20,65		248	4	1,77	6,9	1,3
27.05	10:40	20,296	3,005	8,66	39,3	1,75	15,406	7,88	20,43		178	5,4	1,65	7	1,3
28.05	16:30	2,872	6,659	8,86	47,8	1,9	14,921	7,83	20,08		214	5,6	1,95	7	1,3
31.05	15:00	11,678	3,383	8,79	30	1,7	11,877	7,77	17,69		340	4	1,75	7,5	1,1
01.06	15:35	8,234	4,723	8,91	40,7	1,9	14,465	7,83	17,8	17,76	232	4,4	1,7	7,5	1,1
07.06	15:05	17,130	3,008	8,52	28,9	0,85	13,256	7,76	16,99	17,71	192	4,4	1,75	7,3	1,1
08.06	14:50	4,025	4,448	11,17	12,3	0,75	12,682	8,01	18,3		920	4	1,72	7,1	1,1
09.06	15:32	8,717	4,508	10,77	15,6	0,95	13,614	7,94	18,27		131	4,4	1,76	7,3	1,2
14.06	15:35	27,648	5,983	8,00	21,3	0,45	12,821	8,57	17,61		130	3,3	1,24	6,4	1,2
16.06	15:30	36,491	8,677	7,79	19,5	0,55	13,207	8,73	18,33		160	3,8	0,92	5,2	1,2
17.06	15:30	63,007	4,039	8,02	19,9	0,75	14,529	8,77	18,88	18,4	188	3,6	1,4	7,2	1,2
21.06	12:00	79,903	6,244	8,35	27,4	1,15	14,545	8,92	18,32	18,16	153	3,4	1,18	6,2	1,1
22.06	15:10	43,527	7,946	8,69	45,3	1,05	13,397	8,67	18,97		174	5,1	1,34	7,1	1,1
23.06	14:30	69,358	7,139	8,55	32,2	1,1	14,652	8,36	18,11		177	3	1,3	7,4	1,1
25.06	15:15	95,089	7,434	8,32	29,4	1	15,121	8,7	19,01		156	3,2	1,43	6,4	1,1
28.06	16:10	45,444	10,059	8,86	29	1,55	15,179	9,02	18,54		195	4	1,41	7,6	1,1
29.06	12:00	41,492	7,756	8,92	78	1,6	12,865	9,03	19,81	20,01	160	3,3	1,77	7,4	1,1

Tabela VIII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga) - Continuação

Data	Hora	Estação Elevatória de Lamas		Espessador			Cisterna de Equalização de Lamas		Centrífuga						
		Lamas de Cal	Lamas decantadores	Sobrenadante			Lama da cisterna		Lama desidratada		Sobrenadante	Dados			
		Concentração / (g/L)	Concentração / (g/L)	pH	Turvação / NTU	Altura / m	Concentração / (g/L)	pH	Percentagem de matéria seca / %		Turvação / NTU	Diferencial / rpm	Torque / kNm	Caudal de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)
				Escala Sorensen				Escala Sorensen	Amostra 1	Amostra 2					
30.06	12:40	93,462	7,823	8,88	88,1	1,75	14,418	8,89	20,09	20,5	171	5,8	1,53	7,6	1,2
02.07	14:40	85,707	7,677	9,13	38,6	2	14,804	8,99	19,62		167	3,6	1,5	7,7	1,2
05.07	15:25	65,510	3,666	9,19	37	2,25	11,016	9,03	19,92		155	3,7	1,55	7,5	1,2
06.07	16:10	60,141	7,428	9,5	92,5	2,3	15,138	9,31	21,93	22,43	171	3	1,75	7,1	1,2
09.07	14:15	62,396	8,075	8,98	31,6	2,2	20,020	8,99							
12.07	12:50	70,909	10,358	8,85	32,6	1,7	19,967	9,61	22,02		142	3,6	1,61	6,7	1,2
13.07	12:15	62,706	2,901	8,77	46,2	1,95	22,149	9,61	21,71		112	4,5	1,62	6,3	1,2
14.07	11:15	38,163	6,919	8,77	40,4	2,2	19,585	9,51							
15.07	16:00	44,384	8,436	8,82	46,8	2	17,623	9,51							
16.07	17:00	45,931	8,850	8,8	54,8	1,55	22,489	9,84							
19.07	16:15	94,554	8,223	8,63	64,8	0,85	16,736	9,67	21,32		189	8,1	1,7	6,3	1,3
20.07	15:45	56,724	4,112	8,58	55,4	0,95	25,133	10,48	25,74		128	4	1,49	5,6	1,3
21.07	13:00	32,502	7,290	8,8	73,9	1	19,896	10,250	24,42		162	4	1,79	6,3	1,3
22.07	15:30	10,504	3,623	8,71	87,8	1,15	17,559	9,76	22,45		177	4	1,55	7	1,3
23.07	12:10	71,405	7,196	8,62	136	1,05	21,499	9,58	21,73		142	3,9	1,43	6,8	1,3
02.08	11:30	52,952	5,395	8,39	55,3	0,1	10,815	8,89							
03.08	11:30	42,043	8,840	8,41	95,3	0,05	12,383	8,76	20,92			3,3	1,12	10,1	1,3
04.08	11:15	47,550	9,811	8,23	68,5	0,4	17,685	8,97	20,51		190	3,9	1,7	7,2	1,3
05.08	12:00	86,019	6,726	8,33	49,1	0,45	14,597	9,03							
06.08	10:30	53,330	6,436	7,94	49,8	0,05	16,763	9,79							

Tabela VIII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga) - Continuação

Data	Hora	Estação Elevatória de Lamas		Espessador			Cisterna de Equalização de Lamas		Centrífuga						
		Lamas de Cal	Lamas decantadores	Sobrenadante			Lama da cisterna		Lama desidratada		Sobrenadante	Dados			
		Concentração / (g/L)	Concentração / (g/L)	pH	Turvação / NTU	Altura / m	Concentração / (g/L)	pH	Percentagem de matéria seca / %		Turvação / NTU	Diferencial / rpm	Torque / kNm	Caudal de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)
				Escala Sorensen				Escala Sorensen	Amostra 1	Amostra 2					
09.08	16:00	54,533	5,715	7,96	46,3	0,1	15,055	8,94	20,25		175	3,8	1,64	7,5	1,3
10.08	12:45	58,946	6,565	8,04	45,6	0,3	15,539	9	20,19		163	3,2	1,55	7,6	1,3
11.08	12:00	71,964	6,286	8,22	40,4	0,4	14,092	8,93	20,49		199	3,6	1,75	7,9	1,3
12.08	10:30	51,211	7,980	8,24	44,4	0,45	10,526	9,09	20,35		180	3,7	1,63	7,7	1,3
13.08	11:00	90,523	5,880	8,27	47,9	0,7	15,259	9,37							
16.08	16:00	46,460	7,705	8,09	48,8	0,65	13,331	9,06	21,09		137	3,9	1,47	7,6	1,3
17.08	10:30	32,289	8,381	8,16	73,1	0,75	14,033	9,1	21,37		174	3,6	1,76	6,9	1,2
19.08	14:30	55,660	8,248	8,34	106	1,05	15,720	9,03	19,57		149	4	1,43	7,2	1,3
30.08	12:15	64,155	8,467	8,43	47,1	0,8	13,408	9,36	21,96		140	3,6	1,74	7	1,3
31.08	12:30	57,714	8,319	8,5	82,9	0,95	16,467	9,52	20,76		127	3,8	1,7	6,8	1,3
01.09	16:00	61,001	8,679	8,76	93,3	0,85	14,691	9,29	19,99		121	3,9	1,55	7,1	1,3
02.09	10:45	51,208	7,742	8,86	102	0,95	13,862	9,13	19,04		122	3,6	1,59	7,2	1,2
03.09	14:30	63,374	8,569	8,83	230	1,2	13,312	8,83							
06.09	15:00	59,245	8,844	8,68	70	1,3	14,184	9,36							
07.09	10:30	81,759	5,641	8,56	64,5	1,05	15,157	9,69	21,65		131	3,7	1,69	7,3	1,3
09.09	11:45	55,339	7,935	8,66	83	1	13,573	9,74	21,32		120	3,7	1,64	7	1,2
10.09	09:30	49,781	7,955	8,64	59,1	0,95	14,960	9,71							
13.09	15:30	57,567	8,856	8,43	46,6	1,05	14,303	9,02	20,33		148	3,6	1,74	7,5	1,3
14.09	11:45	57,284	8,361	8,53	57,3	1,15	14,658	9,49	20,3		135	4,1	1,56	7,4	1,3
15.09	12:15	78,129	8,571	8,43	60,7	1,5	14,528	9,07	20,94		155	4	1,65	7,2	1,3

Tabela VIII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (espessamento e desidratação com centrífuga) - Continuação

Data	Hora	Estação Elevatória de Lamas		Espessador			Cisterna de Equalização de Lamas		Centrífuga						
		Lamas de Cal	Lamas decantadores	Sobrenadante			Lama da cisterna		Lama desidratada		Sobrenadante	Dados			
		Concentração / (g/L)	Concentração / (g/L)	pH	Turvação / NTU	Altura / m	Concentração / (g/L)	pH	Percentagem de matéria seca / %		Turvação / NTU	Diferencial / rpm	Torque / kNm	Caudal de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)
				Escala Sorensen				Escala Sorensen	Amostra 1	Amostra 2					
16.09	12:30	48,702	5,822	8,44	75,5	1,9	13,379	8,7	19,31		96,5	3,6	1,63	7	1,3
17.09	10:30	33,865	5,947	8,5	85,6	1,85	10,719	8,62							
21.09	12:00	30,566	8,997	8,77	61,1	1,9	14,358	8,81	18,32		171	3,7	1,41	6,6	1,3
22.09	15:30	55,254	8,424	8,73	69,1	1,95	14,599	8,75	19,14		153	3,4	1,46	7,1	1,3
23.09	14:30	52,996	8,816	8,69	65	1,9	15,943	8,93	17,08		127	3,2	1,15	5,1	1,3
24.09	12:00	55,825	10,628	8,87	69	1,75	15,358	8,77							
27.09	12:15	28,822	10,733	8,87	61,2	1,9	14,970	8,88	19,39		245	4,2	1,58	7	1,2
28.09	14:00	29,491	10,092	8,79	83,5	1,85	13,903	8,78	20,61		303	2,8	1,68	7,1	1,3
29.09	10:30	29,026	9,403	8,82	69,3	2,1	14,240	8,71							
30.09	13:00	28,271	9,659	8,81	68	2,05	14,315	8,67	19,63		218	3,7	1,51	6,9	1,3
01.10	10:00	41,161	7,641	8,79	81,7	2,1	14,485	8,63							

Tabela XII. Registo operacional e controlo analítico da linha sólida (Desidratação com filtro prensa) – Exemplo do ciclo 56 do dia 30 de setembro de 2021

Data	Ciclo	Hora	Caudal instantâneo de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)	Caudal instantâneo de lamas / (m <sup>3</sup> /h)	Pressão da bomba / bar	Volume máximo de lama alimentado / m <sup>3</sup>	Consumo total de polieletrólito / m <sup>3</sup>	Tempo / h			Turvação	Percentagem de matéria seca / %
								Enchimento	Secagem	Abertura	Amostras retiradas ao longo do ciclo	Amostras retiradas no fim do ciclo
30.09	56	09:38	0,18	2,19	0	6,2	0,53	2,97	1,50	0,28		22,93
		10:11	0,18	2,17	0						34,0	19,22
		10:38	0,18	2,15	1						34,5	19,95
		11:09	0,18	2,15	3						59,3	
		11:40	0,18	2,14	6						173	
		11:51	0,18	2,10	7							
		12:11	0,18	2,06	9,2						369	
		12:23	0,18	2,05	10,5							
		12:36	0,18	2,03	11,5							

Tabela XIII. Registo operacional e controlo analítico dos ensaios realizados com o filtro prensa

Ciclo	Data	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)		Consumo total de polieletrólito / m <sup>3</sup>	Caudal de Lamas / (m <sup>3</sup> /h)		Volume máximo de lamas alimentados / m <sup>3</sup>	Tempo de secagem / h		Percentagem de matéria seca / %	Turvação média			Tempo de enchimento / h	Concentração lama cisterna / (g/L)
		Definido	Real		Definido	Real		Definido	Real		Média	±	Erro		
A	21.04	-	0,37	1,00	-	2,52	6,80	-	-					2,70	-
B	22.04 23.04	-	0,31	1,18	-	2,37	9,10	-	-					3,83	-
C	23.04 26.04	-	0,30	0,73	-	2,84	6,90	-	-	26,54		332,60 ± 427,66		2,43	13,31
D	27.04	-	0,29	1,09	-	2,28	8,50	-	-	26,72		44,30		3,73	15,90
E	28.04 29.04	-	0,18	1,11	-	2,61	10,00	2,0	2,17	26,64 ± 2,30		612,00 ± 41,01		3,83	12,82
F	29.04	-	0,28	0,90	-	2,65	8,60	-	-	20,67		45,90 ± 0,00		3,25	13,28
G	30.04	-	0,19	0,92	-	2,68	8,80	1,0	1,33	18,56		128,25 ± 112,78		3,28	9,86
H		-	0,33	0,77	-	3,13	7,40	-	-	18,74		113,00		2,37	9,86
I	04.05	-	0,26	0,78	-	2,87	7,90	-	-					2,75	8,50
J	05.05 07.05	-	0,14	0,81	-	2,63	8,10	2,5	2,50	23,39 ± 3,76		681,47 ± 551,72		3,08	12,84
K	07.05 10.05	-	0,19	0,95	-	3,41	9,20	2,0	2,18	22,07 ± 2,96		439,90 ± 326,98		3,70	13,47
L	10.05	-	0,28	0,82	-	2,91	7,90	-	-	21,13 ± 3,19		719,13 ± 456,67		2,72	14,06
M	11.05	-	0,16	0,87	-	2,42	8,00	2,0	2,02	20,01 ± 2,73		724,72 ± 302,47		3,30	10,43
N		-	0,28	0,80	-	3,04	7,90	-	-	17,78 ± 0,97		667,88 ± 462,02		2,60	10,43
O	12.05	-	0,16	0,86	-	2,60	7,50	2,0	2,20	19,97 ± 1,79		843,33 ± 265,01		2,88	8,12
P		-	0,28	0,81	-	2,94	7,90	-	-	17,82 ± 1,68		506,86 ± 447,82		2,68	8,12
Q	13.05	-	0,16	0,93	-	2,50	8,50	2,0	2,25	19,98 ± 2,82		601,73 ± 467,62		3,40	5,07
R	13.05 14.05	-	0,16	1,02	-	2,81	8,90	3,0	3,08	23,55 ± 2,03		563,76 ± 285,91		3,17	8,29
S	14.05 17.05	-	0,15	0,96	-	1,90	9,30	1,0	1,28	25,60 ± 2,36		694,90 ± 408,77		4,90	12,09

Tabela X. Registo operacional e controlo analítico dos ensaios realizados com o filtro prensa - Continuação

Ciclo	Data	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)		Consumo total de polieletrólito / m <sup>3</sup>	Caudal de Lamas / (m <sup>3</sup> /h)		Volume máximo de lamas alimentados / m <sup>3</sup>	Tempo de secagem / h		Percentagem de matéria seca / %			Turvação média			Tempo de enchimento / h	Concentração lama cisterna / (g/L)
		Definido	Real		Definido	Real		Definido	Real	Média	±	Erro	Média	±	Erro		
T	17.05	-	0,20	0,99	-	1,92	9,50	-	-	23,55	±	1,53	538,10	±	653,23	4,95	12,67
U	18.05 19.05	-	0,15	0,99	-	2,06	9,50	2,0	1,83	22,42	±	3,64	972,00	±	39,60	4,62	10,25
V	21.05	-	0,16	1,04	-	1,99	9,30	1,5	1,62	23,85			64,40	±	13,15	4,68	12,75
W	07.07	-	0,25	0,68	-	2,28	6,20	-	0,00	23,96	±	4,78	244,68	±	192,44	2,72	-
X	09.07	-	0,26	0,47	-	2,30	4,10	2,5	2,30	17,53	±	0,90	536,58	±	395,38	1,78	20,02
1	12.07	0,25	0,28	0,65	2,5	2,74	6,20	3,0	2,83	25,70	±	2,02	146,91	±	122,51	2,27	19,97
2	13.07	0,30	0,30	0,46	3,0	2,97	4,50	2,0	1,77	20,62	±	1,09	433,65	±	379,47	1,52	22,15
3		0,30	0,30	0,40	3,0	3,11	4,10	2,0	2,03	16,36	±	2,87	456,79	±	404,59	1,32	22,15
4	14.07	0,30	0,30	0,45	3,0	3,03	4,50	2,5	2,67	18,78	±	1,84	352,00	±	273,97	1,48	19,59
5		0,30	0,30	0,47	3,0	3,06	4,80	2,0	1,72	19,15	±	1,80	114,34	±	109,35	1,57	19,05
6	15.07	0,25	0,25	0,53	2,5	2,44	5,20	2,0	2,13	23,18	±	2,90	259,39	±	196,56	2,13	18,95
7		0,30	0,30	0,45	3,0	3,03	4,50	2,0	1,78	18,28	±	1,43	240,00	±	95,61	1,48	17,62
8	16.07	0,25	0,25	0,50	2,5	2,67	5,30	3,0	2,87	23,13	±	5,30	234,07	±	132,35	1,98	22,49
9		0,25	0,25	0,50	2,5	2,60	5,20	1,0	1,00	21,22	±	4,03	125,94	±	71,74	2,00	22,49
10	19.07	0,25	0,25	0,49	2,5	2,67	5,20	2,5	2,48	24,78	±	1,03	199,23	±	155,71	1,95	18,35
11		0,30	0,30	0,43	3,0	3,11	4,40	2,0	1,75	20,88	±	2,81	203,17	±	157,24	1,42	21,55
12	20.07	0,25	0,27	0,63	2,5	2,48	5,90	2,5	2,37	27,75	±	4,29	417,09	±	274,78	2,38	24,45
13		0,25	0,26	0,61	2,5	2,44	5,70	-	-	25,82	±	3,68	321,40	±	302,40	2,33	26,27
14	21.07	0,25	0,26	0,57	2,5	2,54	5,50	2,0	2,00	26,91	±	3,81	244,89	±	296,16	2,17	22,59
15	22.07	0,25	0,27	0,56	2,5	2,57	5,40	2,0	1,75	21,73	±	4,25	127,23	±	96,33	2,10	17,56
16	23.07	0,25	0,26	0,54	2,5	2,52	5,20	2,0	2,18	20,76	±	2,01	172,36	±	102,05	2,07	21,50
17		0,30	0,31	0,48	3,0	3,06	4,80	1,5	1,67	20,89	±	0,69	185,90	±	150,11	1,57	17,28

Tabela X. Registo operacional e controlo analítico dos ensaios realizados com o filtro prensa - Continuação

Ciclo	Data	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)		Consumo total de polieletrólito / m <sup>3</sup>	Caudal de Lamas / (m <sup>3</sup> /h)		Volume máximo de lamas alimentados / m <sup>3</sup>	Tempo de secagem / h		Percentagem de matéria seca / %			Turvação média			Tempo de enchimento / h	Concentração lama cisterna / (g/L)
		Definido	Real		Definido	Real		Definido	Real	Média	±	Erro	Média	±	Erro		
18	02.08	0,30	0,30	0,52	3,0	3,06	5,30	2,5	2,53	19,62	±	2,26	180,24	±	190,70	1,73	11,03
19		0,25	0,26	0,53	2,5	2,75	5,60	1,0	1,00	20,92	±	3,14	118,80	±	104,60	2,03	15,99
20	03.08	0,25	0,26	0,61	2,5	2,51	5,90	2,5	2,57	18,14	±	2,30	102,17	±	80,66	2,35	15,88
21		0,30	0,30	0,53	3,0	3,11	5,50	1,0	1,00	18,88	±	3,06	184,48	±	174,02	1,77	12,38
22	04.08	0,20	0,21	0,62	2,0	2,22	6,60	2,0	2,02	20,97	±	0,99	125,82	±	110,12	2,97	15,09
23		0,30	0,31	0,58	3,0	3,03	5,70	1,0	1,00	16,79	±	1,90	214,85	±	216,52	1,88	14,65
24	05.08	0,20	0,21	0,62	2,0	2,27	6,70	1,5	1,73	20,17	±	3,00	109,41	±	82,49	2,95	14,60
25		0,30	0,28	0,55	3,0	3,05	6,00	1,5	1,47	17,74	±	0,76	170,10	±	134,97	1,97	16,21
26	06.08	0,20	0,21	0,67	2,0	2,18	7,10	2,5	2,67	23,15	±	4,20	117,46	±	103,30	3,25	15,85
27	09.08	0,20	0,20	0,58	2,0	2,22	6,60	4,0	3,83	18,93	±	2,32	167,63	±	176,52	2,97	15,01
28	10.08	0,20	0,20	0,62	2,0	2,17	6,80	1,5	1,50	22,76	±	0,62	133,74	±	132,99	3,13	13,78
29		0,25	0,24	0,53	2,5	2,69	6,10	-	-	20,12	±	1,70	208,70	±	262,15	2,27	15,24
30	11.08	0,25	0,25	0,62	2,5	2,54	6,30	1,5	1,58	21,18	±	1,69	185,03	±	210,18	2,48	14,08
31	12.08	0,25	0,25	0,70	2,5	2,51	7,00	1,5	1,58	21,12	±	1,34	167,41	±	228,14	2,78	12,46
32		0,30	0,30	0,62	3,0	3,12	6,60	1,5	1,37	20,06	±	2,08	229,20	±	248,60	2,12	13,63
33	13.08	0,20	0,21	0,67	2,0	2,32	7,40	2,0	2,00	23,01	±	1,43	181,64	±	231,18	3,18	14,05
34	16.08	0,20	0,21	0,70	2,0	2,18	7,40	1,5	1,50	24,06	±	1,23	136,40	±	141,96	3,40	14,41
35	30.08	0,20	0,19	0,62	2,0	2,22	7,10	1,5	1,53	23,44	±	2,16	166,34	±	177,90	3,20	13,41
36	31.08	0,25	0,24	0,68	2,5	2,58	7,30	1,5	1,57	23,70	±	1,67	144,34	±	212,69	2,83	14,35
37	01.09	0,25	0,24	0,66	2,5	2,57	6,90	1,0	1,15	22,50	±	1,02	60,50	±	69,22	2,68	13,42
38	02.09	0,20	0,19	0,58	2,0	2,28	7,10	2,0	1,93	22,98	±	1,16	101,02	±	149,50	3,12	13,37
39	03.09	0,20	0,19	0,61	2,0	2,23	7,00	1,0	1,05	22,20	±	1,10	106,65	±	122,21	3,13	13,31
40	06.09	0,30	0,28	0,62	3,0	3,18	7,10	1,5	1,50	23,08	±	0,49	72,58	±	72,47	2,23	14,18

Tabela X. Registo operacional e controlo analítico dos ensaios realizados com o filtro prensa - Continuação

Ciclo	Data	Caudal de polieletrólito / (m <sup>3</sup> /h)		Consumo total de polieletrólito / m <sup>3</sup>	Caudal de Lamas / (m <sup>3</sup> /h)		Volume máximo de lamas alimentados / m <sup>3</sup>	Tempo de secagem / h		Percentagem de matéria seca / %			Turvação média			Tempo de enchimento / h	Concentração lama cisterna / (g/L)
		Definido	Real		Definido	Real		Definido	Real	Média	±	Erro	Média	±	Erro		
41	07.09	0,30	0,28	0,61	3,0	3,14	6,90	1,5	1,42	23,84	±	1,32	120,30	±	138,55	2,20	15,27
42	09.09	0,20	0,19	0,64	2,0	2,24	7,50	1,0	1,12	23,19	±	1,04	111,35	±	152,79	3,35	13,57
43	10.09	0,20	0,19	0,62	2,0	2,24	7,20	1,5	1,58	24,29	±	0,53	77,37	±	66,33	3,22	14,96
44	13.09	0,30	0,27	0,59	3,0	3,09	6,80	1,5	1,42	21,26	±	1,31	57,28	±	47,07	2,20	14,30
45	14.09	0,30	0,28	0,61	3,0	3,07	6,80	2,0	2,02	21,60	±	2,25	57,33	±	54,89	2,22	13,64
46	15.09	0,30	0,27	0,59	3,0	3,07	6,60	1,5	1,40	20,80	±	0,53	68,20	±	66,00	2,15	14,17
47	16.09	0,30	0,28	0,56	3,0	3,07	6,20	2,5	2,45	18,16	±	0,38	137,43	±	185,06	2,02	13,60
48	17.09	0,30	0,27	0,53	3,0	3,05	6,10	1,5	1,60	16,16	±	0,84	167,50	±	192,93	2,00	11,12
49	21.09	0,25	0,24	0,58	2,5	2,43	6,00	2,0	2,00	18,58	±	0,91	72,28	±	63,44	2,47	14,36
50	22.09	0,20	0,20	0,54	2,0	2,28	6,20	2,0	2,07	20,05	±	1,05	85,08	±	89,02	2,72	13,85
51	23.09	0,20	0,20	0,58	2,0	2,21	6,60	2,0	2,17	21,25	±	0,95	61,83	±	46,23	2,98	15,11
52	24.09	0,30	0,26	0,47	3,0	3,06	5,40	2,0	2,02	17,83	±	0,40	164,90	±	188,58	1,77	16,18
53	27.09	0,25	0,25	0,57	2,5	2,59	6,00	2,0	2,17	19,89	±	0,64	108,80	±	125,60	2,32	14,97
54	28.09	0,25	0,23	0,55	2,5	2,56	6,10	2,0	2,03	19,60	±	1,22	126,33	±	161,93	2,38	13,90
55	29.09	0,25	0,22	0,47	2,5	2,68	5,90	2,0	2,17	18,53	±	0,54	274,38	±	358,93	2,20	14,24
56	30.10	0,20	0,18	0,52	2,0	2,09	6,20	1,5	1,50	20,70	±	1,97	133,96	±	143,38	2,97	14,31
57	01.10	0,20	0,17	0,50	2,0	2,09	6,10	1,5	1,60	20,37	±	1,80	224,88	±	291,40	2,92	14,48

## Anexo IV ESTUDO DE ENERGIA

Tabela XIV. Dados referentes ao estudo de energia da centrífuga e do filtro prensa

Data	Centrífuga			Filtro prensa			
	Tempo de funcionamento da Bomba da Centrífuga e da Centrífuga / h	Energia / kWh	Potência / kW	Tempo de funcionamento da Bomba do Filtro Prensa / h	Tempo de funcionamento do Filtro Prensa / h	Energia / kWh	Potência / kW
07.09	12,75	235,20	18,45	2,17	4,00	2,31	0,58
08.09							
09.09	12,67	223,31	17,63	3,25	4,83	2,88	0,60
10.09				3,25	5,25	2,83	0,54
11.09	15,33	265,66	17,33				
12.09	8,17	148,62	18,20				
13.09	5,25	85,55	16,30	2,17	4,00	2,26	0,57
14.09	15,25	251,55	16,50	2,25	4,75	2,72	0,57
15.09	15,25	258,00	16,92	2,08	4,17	2,63	0,63
16.09	10,67	213,00	19,97	2,08	5,08	2,70	0,53
17.09				2,00	4,17	2,43	0,58
18.09	14,00	199,00	14,21				
19.09	10,00	148,00	14,80				
20.09							
21.09	10,83	163,00	15,05	2,58	5,00	2,56	0,51
22.09	3,67	56,00	15,27	2,75	5,33	2,85	0,53
23.09	8,33	147,00	17,64	3,08	5,75	2,94	0,51
24.09				1,83	4,25	2,20	0,52
25.09	14,67	264,00	18,00				
26.09	6,83	142,00	20,78				
27.09	11,00	212,00	19,27	2,33	4,83	2,65	0,55

Tabela XI. Dados referentes ao estudo de energia da centrífuga e do filtro prensa - Continuação

Data	Centrífuga			Filtro prensa			
	Tempo de funcionamento da Bomba da Centrífuga e da Centrífuga / h	Energia / kWh	Potência / kW	Tempo de funcionamento da Bomba do Filtro Prensa / h	Tempo de funcionamento do Filtro Prensa / h	Energia / kWh	Potência / kW
28.09				2,42	5,08	2,72	0,54
29.09				2,25	4,83	2,56	0,53
30.09	10,67	238,00	22,31	3,00	5,08	2,78	0,55
01.10				2,92	5,17	2,74	0,53
02.10	11,17	247,00	22,12				
04.10							
05.10	13,50	240,00	17,78				
Resumo	Total de Tempo de funcionamento / h	Energia total / kWh	Potência média / kW	Total de Tempo de funcionamento / h	Total de Tempo de funcionamento / h	Energia total / kWh	Potência média / kW
	210,00	3 736,89	17,82	42,42	81,58	44,76	0,55