



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

---

# ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ESPESSAMENTO DE LAMAS DE ETAR

Caso de estudo: Mesa de espessamento *versus* Tambor rotativo

Ana Lúcia Ferreira da Silva

---

---

Escola Superior Agrária

---



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE VIANA DO CASTELO

Ana Lúcia Ferreira da Silva

ESTUDO COMPARATIVO DE SISTEMAS DE  
ESPESSAMENTO DE LAMAS DE ETAR  
Caso de estudo: Mesa de espessamento *versus* Tambor Rotativo

Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do Território  
Gestão Ambiental e Ordenamento do Território

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professora Doutora Ana Isabel Oliveira Faria Ferraz  
Engenheiro Adriano José Pereira de Magalhães

maio de 2015

As doutrinas expressas  
neste trabalho são da  
exclusiva  
responsabilidade do  
autor.

“A persistência é o caminho do êxito.”

Charlie Chaplin

## ÍNDICE

Anexos.....	iii
Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Lista de abreviaturas e símbolos.....	viii
Lista de quadros.....	xi
Lista de figuras.....	xiii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento e objetivos.....	1
1.2 Estrutura do Documento.....	4
<b>2. ESTADO DA ARTE.....</b>	<b>6</b>
2.1 Tratamento de Águas Residuais.....	6
2.1.1 Caracterização do tratamento de águas residuais.....	6
2.1.2 Tratamento da Fase Líquida.....	10
2.1.2.1 Tratamento Preliminar ou Pré-tratamento.....	10
2.1.2.2 Tratamento Primário.....	10
2.1.2.3 Tratamento Secundário.....	11
2.1.2.4 Tratamento Terciário.....	13
2.1.3 Tratamento da Fase Sólida.....	14
2.1.3.1 Operações Preliminares.....	15
2.1.3.2 Espessamento.....	16
2.1.3.3 Estabilização.....	23
2.1.3.4 Condicionamento.....	29
2.1.3.5 Desidratação.....	30
2.1.3.6 Secagem Térmica.....	33
2.2 Caracterização das lamas de ETAR e a sua produção em Portugal e na União Europeia.....	34
2.2.1 Enquadramento Legal.....	34
2.2.2 Definição de lamas de depuração.....	34

2.2.3 Origem e Tipologia de Lamas de ETAR .....	36
2.2.4 Composição de Lamas de ETAR .....	37
2.2.5 Armazenamento, Transporte e Destino final de Lamas de ETAR.....	39
2.2.6 Produção de Lamas em Portugal e na União Europeia .....	43
<b>3. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA .....</b>	<b>49</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
4.1 Definição do objetivo e âmbito.....	53
4.2 Caracterização dos casos de estudo .....	56
4.2.1 ETAR de Esposende .....	56
4.2.2 ETAR de Água Longa.....	62
4.2.3 ETAR de Penices .....	67
4.3 Análise de inventário .....	70
<b>5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>98</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>102</b>

## **ANEXOS**

### **Anexo I – Operações e processos unitários do tratamento de águas residuais**

Quadro I.1	Operações unitárias do tratamento preliminar/pré-tratamento de águas residuais
Quadro I.2	Operações unitárias do tratamento primário de águas residuais
Quadro I.3	Processos unitários do tratamento secundário de águas residuais
Quadro I.4	Operações e processos unitários do tratamento terciário

### **Anexo II – Enquadramento legal do tratamento de águas residuais**

Quadro II.1	Quadro legal do tratamento de águas residuais
-------------	---

### **Anexo III – Folha de registo de dados no período de amostragem**

### **Anexo IV – Horários e preços das tarifas de energia estabelecidos pela EDP**

Quadro IV.1	Horários estabelecidos pela EDP
Quadro IV.2	Tabela de preços da energia definidos pela EDP 2015

### **Anexo V – Identificação e avaliação da significância de aspetos ambientais**

Quadro V.1	Critérios de avaliação da significância de aspetos ambientais
Quadro V.2	Escala de significância de aspetos ambientais
Quadro V.3	Matriz de identificação e avaliação de aspetos ambientais dos casos de estudo

### **Anexo VI – Número de horas de funcionamento**

Quadro VI.1	Número de horas de funcionamento do sistema do produto definido para ETAR em estudo
-------------	---

### **Anexo VII – Caudal de lamas de depuração**

Quadro VII.1	Caudal de lamas de depuração medido no período de amostragem
--------------	--

### **Anexo VIII – Preparação de reagente: consumos e custo associados.**

Quadro VIII.1	ETAR de Esposende
Quadro VIII.2	ETAR de Água Longa
Quadro VIII.3	ETAR de Penices

**Anexo IX** – Consumo de água tratada reutilizada

Quadro IX.1            Consumo de água tratada reutilizada na lavagem dos espessadores

**Anexo X** – Consumo energético e custo associado

Quadro X.1            ETAR de Esposende

Quadro X.2            ETAR de Água Longa

Quadro X.3            ETAR de Penices

**Anexo XI** – Concentração de sólidos nas lamas de depuração

Quadro XI.1           Concentração de sólidos nas lamas de depuração das ETAR em estudo

## **AGRADECIMENTOS**

Sem dúvida que o desenvolvimento deste trabalho não teria sido possível sem o auxílio e disponibilidade de algumas pessoas, a quem deixo os meus agradecimentos.

À Águas do Noroeste, S.A., na pessoa da Engenheira Cristiana Barbosa, agradeço a oportunidade e confiança dadas, as quais permitiram a concretização de mais uma etapa na minha formação profissional.

Ao Engenheiro Adriano Magalhães que me ensinou “a pensar como engenheira”. Obrigada pela oportunidade, orientação e paciência imprescindíveis na realização deste trabalho.

A todos os colegas técnicos operativos e técnicos superiores que colaboraram com a recolha e tratamento da informação, fundamental para a concretização deste trabalho, organizando o seu trabalho de modo a tornar possível a sua realização.

A todos os colegas e amigos da Águas do Noroeste, S.A., que de uma forma ou de outra me foram auxiliando, contribuindo com o seu conhecimento e apoio pessoal nas diversas fases.

À Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, na pessoa da Professora Doutora Ana Ferraz, pela disponibilidade, sabedoria e experiência partilhada. Obrigada pela orientação, por todos os conselhos e por me redirecionar sempre que foi necessário.

Um agradecimento especial à Professora Doutora Ana Cristina Rodrigues que desde o início do meu Mestrado foi parte integrante e importante na escolha e tomada de decisões, tornando-se essencial o seu contributo.

A todos aqueles amigos e amigas que sempre acreditaram em mim, me confortaram com palavras de apoio, me perdoaram ausências e me incentivaram a seguir em frente e nunca desistir.

E, finalmente, aos meus pais, que sem eles nada disto seria possível; a eles devo tudo o que sou.

## RESUMO

Num cenário atual de recursos financeiros debilitado onde a prioridade é manter a sustentabilidade dos serviços de saneamento de águas residuais, incluída numa perspetiva de proteção e gestão dos recursos naturais melhorando conseqüentemente os ecossistemas naturais e a qualidade de vida das populações, a análise dos processos de tratamento de águas residuais torna relevante a compreensão da influência que a escolha de uma determinada solução tecnológica tem, efetivamente, no desempenho das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

O presente estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa de duas tecnologias de espessamento de lamas de depuração, a mesa de espessamento e o tambor rotativo adotando uma abordagem metodológica baseada na Análise de Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao processo de espessamento de três casos de estudo: a ETAR de Esposende, a ETAR de Água Longa e a ETAR de Penices e definindo critérios para a avaliação do seu desempenho ambiental, operacional e económico. Os dados necessários à análise de inventário das entradas e saídas do sistema e à caracterização dos indicadores definidos foram recolhidos nas ETAR em estudo durante o mês de março de 2015.

O estudo realizado permitiu concluir que a gestão das lamas de depuração tem de considerar todo o seu ciclo de vida, desde as características das águas residuais a tratar, que definem as características das lamas a espessar, mas ainda o processo e equipamentos disponíveis para o tratamento e o seu destino final, para definir a estratégia que assegura o melhor desempenho.

A informação resultante do desenvolvimento deste trabalho mostra a pertinência de alargar a análise a todo o processo de tratamento, contribuindo para a otimização dos processos, nomeadamente pela identificação e implementação de Melhores Técnicas Disponíveis (MTD) e a adequação do tarifário aos custos reais do tratamento realizado em cada ETAR, melhorando o seu desempenho e ecoeficiência.

**Palavras-chave:** *Avaliação de desempenho, Lamas de depuração, Espessamento, Análise de Ciclo de Vida, Indicadores*

## **ABSTRACT**

In the current scenario concerning the financial resources, where the priority is to maintain the sustainability of wastewater sanitation services, within the perspective of protection and management of natural resources improving the natural ecosystems and the quality of life of populations, the analysis of wastewater treatment processes is relevant to assess and understand the influence of a technological treatment solution has in the overall wastewater treatment performance.

This study aimed to carry out a comparative analysis of two sewage sludge thickening technologies, adopting a methodological approach based on Life Cycle Analysis (LCA) applied to the rotary drum and table thickening, in three case studies: the Wastewater Treatment Plants (WTP) of Esposende, Água Longa and Penices, and setting criteria for their environmental, operational and economic performance assessment. The data necessary for inventory analysis of the system inputs and outputs, and the characterization of defined indicators were collected in each WTP during the month of March 2015.

The study concluded that the management of sewage sludge has to consider its entire life cycle, from the characteristics of the wastewater to be treated, that will define the sludge characteristics, but also the process and equipment available for treatment and final destination, to define the strategy that ensures the overall best performance.

The information resulting from the development of this work shows the relevance of extending the analysis to the global treatment process, contributing to the optimization of processes, including the identification and implementation of Best Available Techniques (BAT) and the adequacy of the tariff to the actual costs of treatment held in each WTP, improving their performance and eco-efficiency.

**Keywords:** *Indicators, Life Cycle Analysis, Performance assessment, Sewage Sludge, Thickening*

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

<i>A</i>	Área
AA	Aspeto Ambiental
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AEA	Agência Europeia do Ambiente
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AR	Água (s) Residual (ais)
ATR	Água Tratada Reutilizada
<i>c</i>	Comprimento
<i>C</i>	Concentração
CBO	Carência Bioquímica de Oxigénio
CEE	Comunidade Económica Europeia
COT	Carbono Orgânico Total
CQO	Carência Química de Oxigénio
DL	Decreto-Lei
<i>E</i>	Energia
E.E.	Estação Elevatória
ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
€	Moeda europeia, Euro
$f_p$	Fator de ponta
fev.	fevereiro
FSC	Fossas sépticas
GEE	Gases com Efeito de Estufa
<i>h</i>	Altura
hab.	Habitantes
hab.eq.	Habitantes equivalentes
<i>I</i>	Intensidade
IGAOT	Inspeção-geral do Ambiente e Ordenamento do Território
IVL	Índice de Volume de Lamas

INSAAR	Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento e de Águas Residuais
jan.	janeiro
<i>l</i>	Largura
L	Litro, unidade de medida de volume
LER	Lista Europeia de Resíduos
<i>m</i>	Massa
mar.	março
MS	Matéria Seca
MST	Matéria Seca Total
MTD	Melhores Técnicas Disponíveis
n.º	Número
n.d	Não definido
<i>P</i>	Potência
Pe	População Equivalente
PF	População Flutuante
Pop	População
PR	População Residente
PCQPAR	Plano de Controlo de Qualidade do Processo de Águas Residuais
PEAASAR II	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais II
PENSAAR 2020	Plano Estratégico Nacional para os Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais 2014-2020
Q	Caudal
Q <sub>p</sub>	Caudal de ponta
Q <sub>PF</sub>	Caudal da População Flutuante
<i>r</i>	Raio
RH	Região Hidrográfica
RASARP 2013	Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2013
SAR	Saneamento de Águas Residuais

SD	Sólidos Dissolvidos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SS	Sólidos Suspensos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
<i>t</i>	Tempo
<i>U</i>	Tensão
UE	União Europeia
<i>V</i>	Volume

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – Composição típica de uma água residual urbana .....	9
<b>Quadro 2.2</b> – Requisitos de descarga de ETAR localizadas em zonas não sensíveis .....	9
<b>Quadro 2.3</b> – Requisitos de descarga de ETAR localizadas em zonas sensíveis .....	9
<b>Quadro 2.4</b> – Processos de tratamento de lamas de depuração de ETAR .....	15
<b>Quadro 2.5</b> – Vantagens e desvantagens do condicionamento térmico nas lamas de ETAR .....	30
<b>Quadro 2.6</b> – Composição típica de uma lama de depuração de ETAR.....	38
<b>Quadro 2.7</b> – Metais pesados mais comuns nas lamas de depuração de ETAR.....	38
<b>Quadro 2.8</b> – Níveis típicos de bactérias patogénicas nas lamas de depuração de ETAR não tratadas.....	39
<b>Quadro 2.9</b> – Vantagens e desvantagens da valorização agrícola de lamas de ETAR .....	43
<b>Quadro 2.10</b> – População servida por tipo de instalação de tratamento de águas residuais.....	44
<b>Quadro 2.11</b> – Volume de águas residuais tratadas por tipo de instalação.....	44
<b>Quadro 2.12</b> – Avaliação do serviço em alta e em baixa ao nível continental .....	46
<b>Quadro 2.13</b> – Produção de lamas de depuração de ETAR na União Europeia - 27.....	47
<b>Quadro 4.1</b> – Dados base de projeto da ETAR de Esposende .....	58
<b>Quadro 4.2</b> – Dados base de projeto da ETAR de Água Longa .....	63
<b>Quadro 4.3</b> – Dados base de projeto da ETAR de Penices .....	68
<b>Quadro 4.4</b> – Indicadores ambientais para avaliação do desempenho dos sistemas de espessamento.....	74
<b>Quadro 4.5</b> – Indicadores de avaliação de desempenho operacional e económico .....	75
<b>Quadro 5.1</b> – Quadro resumo de caracterização técnica das ETAR em estudo.....	77
<b>Quadro 5.2</b> – Caracterização técnica 2014/2015 das ETAR em estudo .....	78
<b>Quadro 5.3</b> – Caracterização do sistema de espessamento .....	79
<b>Quadro 5.4</b> – Preparação de reagente: consumos e custo associados .....	81
<b>Quadro 5.5</b> – Consumo de água tratada reutilizada na lavagem dos espessadores.....	82
<b>Quadro 5.6</b> – Consumo energético total do processo de espessamento e custo associado .....	83

<b>Quadro 5.7</b> – Custo de manutenção dos equipamentos de espessamento.....	85
<b>Quadro 5.8</b> – Transporte e eliminação de lamas nas ETAR em estudo.....	86
<b>Quadro 5.9</b> – Caracterização das entradas e saídas do processo de espessamento: indicadores ambientais .....	89
<b>Quadro 5.10</b> – Avaliação de indicadores de desempenho operacional e económico .....	92
<b>Quadro 5.11</b> – Escala de avaliação dos critérios considerados nas ETAR em estudo.....	95
<b>Quadro 5.12</b> – Matriz de avaliação de desempenho das ETAR em estudo .....	97

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Quadro estratégico do PENSAAR 2020.....	3
<b>Figura 2.1</b> – Esquema representativo do tratamento de águas residuais.....	7
<b>Figura 2.2</b> – Mesa de espessamento de lamas de depuração de ETAR.....	20
<b>Figura 2.3</b> – Tambor rotativo de espessamento de lamas de depuração de ETAR.....	22
<b>Figura 2.4</b> – Silo de armazenamento de lamas de depuração de ETAR.....	41
<b>Figura 2.5</b> – Tipo de tratamento em ETAR por Região Hidrográfica.....	45
<b>Figura 2.6</b> – Histórico e tendências futuras da produção de lamas na União Europeia.....	48
<b>Figura 3.1</b> – Estágios de uma análise de ciclo de vida de um produto.....	50
<b>Figura 3.2</b> – Fases de uma análise de ciclo de vida de um produto.....	51
<b>Figura 4.1</b> - Estágios considerados na abordagem metodológica adotada.....	54
<b>Figura 4.2</b> – Diagrama do processo de tratamento da ETAR de Esposende.....	59
<b>Figura 4.3</b> – Mesa de espessamento <i>OMEGA 25 SD</i> instalada na ETAR de Esposende.....	61
<b>Figura 4.4</b> – Modelo da unidade de preparação de polímero instalado na ETAR de Esposende.....	61
<b>Figura 4.5</b> – Sistema do produto definido para a ETAR de Esposende.....	62
<b>Figura 4.6</b> – Esquema de tratamento da ETAR de Água Longa.....	64
<b>Figura 4.7</b> – Injeção de polímero no floculador instalado na ETAR de Água Longa.....	66
<b>Figura 4.8</b> – Modelo da unidade de preparação de polímero instalado na ETAR de Água Longa.....	66
<b>Figura 4.9</b> – Tambor rotativo de espessamento <i>Andritz</i> instalado na ETAR de Água Longa.....	66
<b>Figura 4.10</b> – Sistema do produto definido para a ETAR de Água Longa.....	67
<b>Figura 4.11</b> – Esquema de tratamento da ETAR de Penices.....	69
<b>Figura 4.12</b> – Sistema do produto definido para a ETAR de Penices.....	70

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e objetivos

A produção de resíduos, seja de origem rural, urbana ou industrial, assim como o desenvolvimento industrial e socioeconómico tem vindo a acompanhar a evolução do Homem ao longo dos anos. No entanto, tem-se vindo a verificar um esforço acrescido para a redução da produção destes resíduos seja através da prevenção, da recuperação de produtos ou deposição final.

A gestão sustentável dos resíduos impõe a formalização de uma estratégia orientadora e abrangente que garanta uma política nacional de resíduos, inserida numa ótica de proteção do ambiente e desenvolvimento do país, com uma perspetiva sistémica dos diversos aspetos ligados à gestão dos recursos naturais.

A implementação de uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) vem espelhar a importância da preservação do meio ambiente, uma vez que todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos vários sistemas de tratamento contribuem para a redução da poluição dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (ribeiras, rios, lagos e oceanos ou aquíferos), melhorando consequentemente os ecossistemas naturais e a qualidade de vida das populações.

Genericamente o funcionamento de uma infraestrutura como uma ETAR compreende a receção da “matéria-prima” (águas residuais domésticas, águas residuais industriais e águas pluviais), o seu tratamento através de operações e processos unitários que variam segundo fatores como por exemplo o tipo de substâncias presentes no afluente bruto transformando-a em dois produtos finais, nomeadamente a água residual tratada (que pode ser reutilizada ou devolvida ao meio hídrico) e as lamas de depuração (podendo ter como destino final o aterro sanitário ou a sua reutilização no sector agrícola).

É, portanto, de extrema importância que a água residual seja removida com rapidez dos locais onde é produzida e transportada até uma zona de tratamento, sendo posteriormente reutilizada ou descarregada num meio recetor, para que a saúde pública e o ambiente sejam protegidos (Metcalf e Eddy, 2003).

O Relatório sobre a Qualidade e Sustentabilidade dos Serviços de Abastecimento de Águas e Saneamento confirmou uma evolução notável e positiva do sector de tratamento de águas residuais nas últimas décadas, contudo, dada a importância deste recurso natural tanto na

condição de vida como na sustentabilidade financeira e ambiental dos sistemas, torna-se essencial avaliar a situação atual e em que medida as metas definidas pelo Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II) foram cumpridas (Magalhães e Bessa, 2012).

Do balanço feito ao PEAASAR II (aprovado pelo Despacho n.º 2339/2007, de 12 de fevereiro de 2007), embora o objetivo da acessibilidade ao serviço de Saneamento de Águas Residuais (SAR) não tenha sido atingido, o investimento no tratamento de águas residuais teve um impacto positivo na qualidade das águas balneares e, conseqüentemente, benefícios no setor do turismo e da qualidade de vida da população em geral.

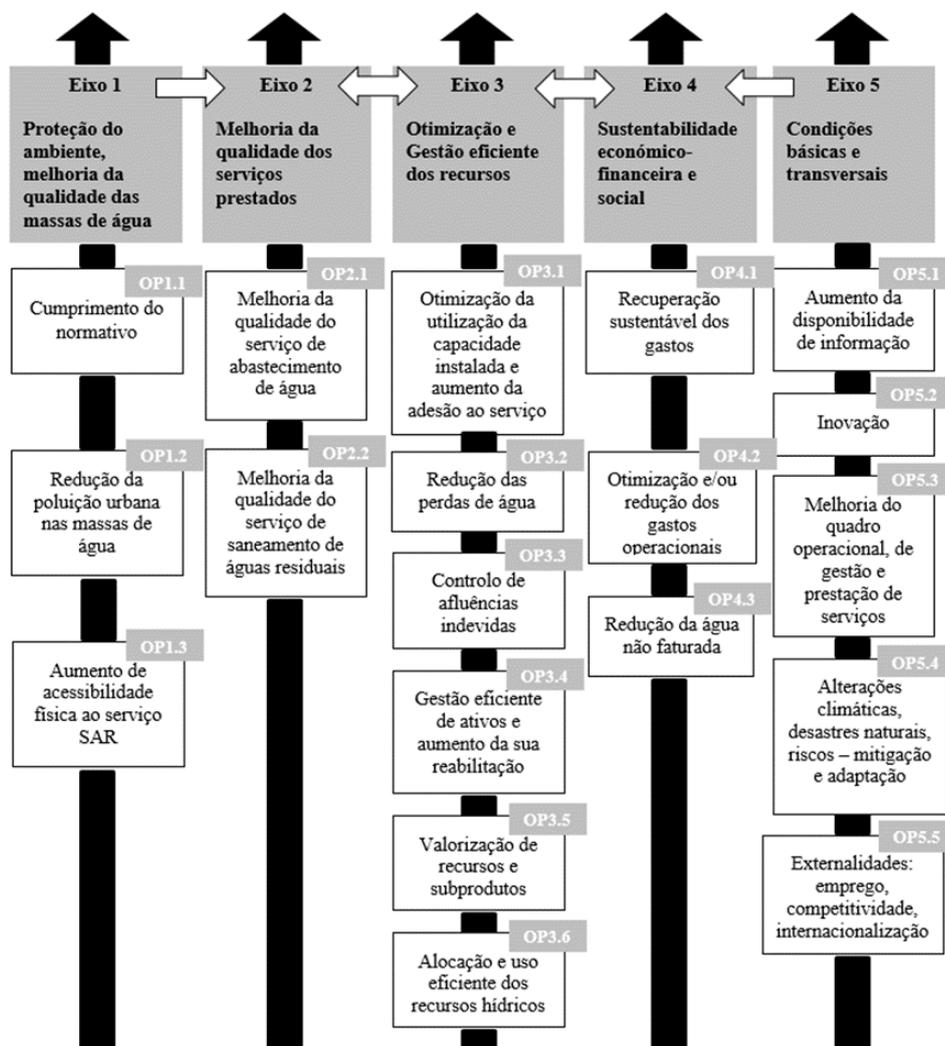
É então no âmbito do quadro estratégico do Plano Estratégico Nacional para os Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais 2014-2020 (PENSAAR 2020) que, dos 5 eixos estratégicos definidos que sustentam a visão do setor (dos quais foram definidos 19 objetivos operacionais com vários indicadores de avaliação da qualidade do serviço que servirão para gerir o Plano e avaliar o seu progresso através da monitorização anual ao longo do período de vigência) (PENSAAR 2020, 2014), o presente estudo se insere essencialmente nos eixos 3 e 4 relativamente à gestão eficiente de ativos e aumento da sua reabilitação, valorização de recursos e subprodutos e otimização e/ou redução dos gastos operacionais (Figura 1.1).

Recentemente, o PENSAAR 2014-2020 foi aprovado pelo Despacho n.º 4385/2015, de 30 de abril, que compreende a maturidade do sector como uma necessidade de encarar novos desafios que direcionam a uma estratégia voltada para um novo paradigma focado na gestão eficiente dos recursos. Estes desafios sejam a resiliência e segurança dos serviços de água e saneamento (considerados como um direito humano) ou o apoio do crescimento verde, incluem a prestação de serviços de qualidade de forma profissionalizada e sustentável social, económica e financeiramente (Despacho n.º 4385/2015).

De facto, os desafios do sector requerem a definição de uma nova estratégia orientada para o atual paradigma centrado na gestão eficiente dos recursos, assegurando a qualidade dos serviços e a sustentabilidade do sector.

No cenário atual, em que no serviço de saneamento de águas residuais apenas 19 % das entidades gestoras recupera os custos totais (ERSAR, 2015), a análise dos processos de tratamento de águas residuais e lamas de depuração ao nível ambiental, técnico e económico,

comparando tecnologias de tratamento segundo uma abordagem baseada no seu ciclo de vida, dará contributos relevantes para a sustentabilidade do setor.



**Figura 1.1** – Quadro estratégico do PENSAAR 2020 (Fonte: Adaptado do PENSAAR 2020).

No contexto de recursos financeiros debilitado onde a prioridade é manter a sustentabilidade dos serviços públicos prestados reduzindo as despesas associadas, torna-se relevante a compreensão da influência que a escolha de uma determinada solução tecnológica no processo de tratamento tem, efetivamente, nos custos de tratamento nas ETAR. Ao nível das entidades gestoras de águas residuais como a Águas do Noroeste, S.A., uma correta gestão das lamas de depuração trará não só benefícios do ponto de vista ecológico como também do ponto de vista económico, contribuindo para a definição de um modelo de gestão de resíduos mais sustentável.

Assim, o presente estudo teve por objetivo geral a análise comparativa de duas tecnologias de espessamento de lamas de depuração, adotando uma abordagem metodológica com base na Análise de Ciclo de Vida (ACV) ao processo de espessamento mecânico por tambor rotativo e em mesa de espessamento, aplicada a três casos de estudo: a ETAR de Esposende (concelho de Esposende), a ETAR de Água Longa (concelho de Santo Tirso) e a ETAR de Penices (concelho de Vila Nova de Famalicão), infraestruturas pertencentes ou exploradas pelo grupo Águas do Noroeste, S.A., responsável pela concessão da exploração e gestão do sistema multimunicipal de abastecimento de água e de saneamento do Noroeste. Nesta análise serão considerados indicadores ambientais, operacionais e económicos com vista à otimização do processo de espessamento de lamas de depuração e respetivo modelo de gestão.

Para o efeito, foram ainda definidos os seguintes objetivos específicos:

- i) Realizar uma revisão da situação atual no que respeita ao tratamento de lamas de depuração de ETAR;
- ii) Identificar e caracterizar as soluções tecnológicas disponíveis no mercado para o espessamento de lamas de ETAR;
- iii) Identificar e caracterizar as entradas e saídas associadas aos processos de espessamento de lamas de depuração das ETAR em estudo, os respetivos impactos ambientais e custos associados, com base na metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV);
- iv) Definir os indicadores ambientais, operacionais e económicos para avaliar o desempenho dos sistemas de espessamento de lamas de depuração;
- v) Analisar comparativamente os processos tecnológicos de espessamento de lamas de depuração, com base nos critérios definidos.

## **1.2 Estrutura do Documento**

O presente capítulo apresenta um enquadramento do tema proposto e os principais objetivos, gerais e específicos, que se pretendem alcançar com a realização do presente estudo.

Num segundo capítulo é feita uma resenha relativamente ao tratamento das águas residuais, ou seja, uma recapitulação dos conceitos fundamentais do tratamento de águas residuais, incluindo a descrição dos processos de tratamento das diferentes fases (líquida e sólida) que constituem a atividade de uma ETAR e uma descrição dos equipamentos utilizados consoante o tipo de operações unitárias que integram a fase de tratamento e métodos de execução adotados. Em continuidade, no mesmo capítulo, é apresentada uma caracterização qualitativa

e quantitativa de lamas de depuração de ETAR bem como uma análise comparativa da evolução do sector quer ao nível nacional quer ao nível da União Europeia (UE).

O capítulo terceiro pretende descrever brevemente o processo de Análise do Ciclo de Vida (ACV), que esteve na base da realização do presente estudo comparativo de duas tecnologias diferentes de espessamento mecânico de lamas de depuração de ETAR, a mesa de espessamento e o tambor rotativo.

A descrição da metodologia adotada na realização do estudo comparativo é descrita no capítulo quarto da presente dissertação. É efetuada uma exposição dos casos de estudo pertencentes ao grupo Águas do Noroeste, S.A.: ETAR de Esposende, ETAR de Água Longa e ETAR de Penices, onde são enumerados os principais dados base de projeto, o respetivo esquema de tratamento da ETAR e o sistema do produto definido para cada um dos casos, segundo a Análise do Ciclo de Vida (ACV). É definida uma matriz de identificação e avaliação de significância dos aspetos ambientais que permitirá alcançar os objetivos aos quais a presente dissertação se propõe.

No quinto capítulo é realizada uma análise e discussão dos resultados obtidos no estudo desenvolvido, constituindo um conjunto de indicadores de avaliação de desempenho definidos de acordo com a metodologia adotada, cuja correlação foi decisiva na avaliação da solução tecnológica mais rentável.

O capítulo sexto conclui o trabalho, propondo a discussão das soluções hierarquizadas, estruturadas em considerações finais e conclusões, de acordo com a sua viabilidade e sustentabilidade ambiental, operacional e económica.

O sétimo capítulo enumera as referências bibliográficas consultadas na elaboração do presente documento, sendo ainda apresentados onze anexos, que servem de suporte informativo aos diferentes capítulos enunciados e desenvolvidos.

## **2. ESTADO DA ARTE**

### **2.1 Tratamento de Águas Residuais**

#### **2.1.1 Caracterização do tratamento de águas residuais**

A contaminação das águas superficiais por descargas de efluentes domésticos não é justificável, não só por questões de ética ambiental, mas também pela diversidade de tecnologias disponíveis para o tratamento destas águas (Azevedo, 2003).

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), o mais importante é que a água residual seja transportada com rapidez dos locais onde é produzida até uma zona de tratamento, sendo posteriormente reutilizada ou descarregada num meio recetor, para que a saúde pública e o ambiente sejam protegidos.

As definições introduzidas pela Diretiva 91/271/CEE, do Conselho de 21 de maio, transpostas para o direito jurídico interno pelo Decreto-Lei (DL) n.º 152/97, de 19 de junho, permitem classificar as águas residuais, conforme a sua origem, da seguinte forma:

- i) Águas Residuais Domésticas: as águas residuais de serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas;
- ii) Águas Residuais Industriais: as águas residuais provenientes de qualquer tipo de atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais;
- iii) Águas Residuais Urbanas: a mistura de águas residuais domésticas com águas residuais industriais e/ou águas pluviais;
- iv) Águas Residuais Pluviais: as águas residuais provenientes da precipitação atmosférica.

O tratamento integrado de águas residuais domésticas e industriais implica uma adaptação do tratamento às características das águas afluentes, principalmente das águas residuais industriais que podem apresentar uma composição muito variada, dependendo do tipo de indústria de onde provêm (APA, 2008).

Segundo Azevedo (2003), a escolha de um sistema de tratamento é determinada por diversos fatores como as características quantitativas e qualitativas das águas residuais, a localização do sistema e os objetivos de qualidade que se pretendem impor.

A grande questão no tratamento de águas residuais prende-se com a determinação dos níveis de tratamento que devem ser realizados numa ETAR, além daqueles prescritos pelas licenças



O DL n.º 152/97, de 19 de junho, tem em conta que uma mesma ETAR poderá receber águas residuais domésticas e industriais, de aglomerados populacionais de diferentes dimensões, onde o meio recetor poderá ser do tipo sensível, menos sensível ou “normal” (conforme a definição descrita no anexo II do DL n.º 152/97); o nível de tratamento de uma infraestrutura destas deverá atender às condições impostas pelo mesmo diploma legal.

De modo a não comprometer o tratamento na ETAR, os municípios possuem um regulamento de descarga de águas residuais em coletores municipais onde são estabelecidos valores-limite para os constituintes das águas residuais industriais. A ligação dos coletores industriais aos coletores municipais requer uma autorização e o que acontece nas unidades industriais cujas águas residuais não cumprem com as características regulamentadas é a realização de um tratamento prévio, antes da descarga no coletor municipal (APA, 2008).

No dimensionamento de uma ETAR é imprescindível realizar uma caracterização prévia das águas residuais a tratar, avaliando o caudal afluyente e a quantidade de carga poluente. A Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO<sub>5</sub>) é o parâmetro mais usado na medição da poluição orgânica de águas residuais, traduzindo a quantidade de matéria orgânica oxidável através de reações biológicas, isto é, biodegradável. A sua determinação envolve a medição do consumo de oxigénio dissolvido por microrganismos ao fim de 5 dias, à temperatura de 20 °C (APA, 2008).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), uma água residual de origem urbana pode apresentar uma composição padronizada com os principais parâmetros de qualidade e respetivos intervalos de concentração identificados no quadro 2.1.

A aprovação do DL n.º 152/97, de 19 de junho, veio implementar os requisitos de descarga, os valores de concentração ou a percentagem mínima de redução a que deve respeitar uma descarga de águas residuais urbanas tratadas no meio hídrico. Uma ETAR que não se localize em zonas sensíveis, por norma, o tratamento requerido é o tratamento secundário, a que correspondem os requisitos de descarga indicados no quadro 2.2 (conforme o anexo I do referido diploma).

As águas residuais transportam ainda uma série de sólidos grosseiros, areias, gorduras, nutrientes como fósforo e azoto, e outros possíveis contaminantes, que devem ser removidos antes da sua descarga no meio hídrico recetor. Para zonas sensíveis sujeitas ao processo de

eutrofização, o mesmo diploma define os requisitos de descarga apresentados no quadro 2.3 os quais as ETAR urbanas devem cumprir.

**Quadro 2.1** – Composição típica de uma água residual urbana (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Parâmetros		Concentração (mínima-máxima)	Unidades
Sólidos Totais (ST)		390 - 1230	mg/L
Sólidos Dissolvidos (SD)	Totais (SDT)	270 - 860	mg/L
	Fixos (SDF)	160 - 520	mg/L
	Voláteis (SDV)	110 - 340	mg/L
Sólidos Suspensos (SS)	Totais (SST)	120 - 400	mg/L
	Fixos (SSF)	25 - 85	mg/L
	Voláteis (SSV)	85 - 315	mg/L
Sólidos Sedimentáveis		5 - 20	mg/L
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> , a 20 ° C)		110 - 350	mg/L
Carbono Orgânico Total (COT)		80 - 260	mg/L
Carência Química de Oxigénio (CQO)		250 - 800	mg/L
Azoto (N)	Total	20 - 70	mg/L
	Orgânico	8 - 25	mg/L
	Amoniacal	12 - 45	mg/L
	Nitritos	0	mg/L
	Nitratos	0	mg/L
Fósforo (P)	Total	4 - 12	mg/L
	Orgânico	1 - 4	mg/L
	Inorgânico	3 - 10	mg/L
Cloretos		30 - 90	mg/L
Sulfatos		20 - 50	mg/L
Óleos e Gorduras		50 - 100	mg/L
Compostos Orgânicos Voláteis		<100 - >400	mg/L
Coliformes Totais		(10 <sup>6</sup> - 10 <sup>8</sup> ) - (10 <sup>7</sup> - 10 <sup>10</sup> )	n°/100 mL
Coliformes Fecais		(10 <sup>2</sup> - 10 <sup>5</sup> ) - (10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup> )	n°/100 mL

**Quadro 2.2** – Requisitos de descarga de ETAR localizadas em zonas não sensíveis (Fonte: adaptado do DL n.º 152/97).

Parâmetros	Concentração	% mínima de redução
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO <sub>5</sub> , a 20 °C) sem nitrificação	25 mg/L O <sub>2</sub>	70 - 90
Carência Química de Oxigénio (CQO)	125 mg/L O <sub>2</sub>	75
Sólidos Suspensos Totais (SST)	35 mg/L O <sub>2</sub>	90

**Quadro 2.3** – Requisitos de descarga de ETAR localizadas em zonas sensíveis (Fonte: adaptado do DL n.º 152/97).

Parâmetros	Concentração	% mínima de redução
Fósforo total (P)	2 mg/L P (10 000 - 100 000 e.p.)	80
	1 mg/L P (mais de 100 000 e.p.)	
Azoto total (N)	15 g/L N (10 000 - 100 000 e.p.)	70 - 80
	10 g/L N (mais de 100 000 e.p.)	

## **2.1.2 Tratamento da Fase Líquida**

No tratamento de águas residuais, os métodos de tratamento onde há aplicação de forças físicas denominam-se como operações unitárias, enquanto os métodos de tratamento onde a remoção de contaminantes é traduzida por reações químicas ou biológicas são designados como processos unitários. Os processos e operações unitárias são agrupados em conjunto de modo a proporcionar vários níveis de tratamento conhecidos como preliminar ou pré-tratamento, primário, primário avançado, secundário (com ou sem remoção de nutrientes), e terciário (ou avançado) (Metcalf e Eddy, 2003).

O principal objetivo do tratamento de águas residuais é, efetivamente, diminuir os níveis de contaminantes presentes através de processos físicos, químicos e/ou biológicos, de acordo com as suas características e segundo o grau de exigência requerido ou o fim de reutilização das mesmas.

### **2.1.2.1 Tratamento Preliminar ou Pré-tratamento**

Os tratamentos preliminares executam-se logo ao início do processo de tratamento, quando a água residual chega à ETAR, constituindo a chamada obra de entrada da ETAR. Como o nome indica, correspondem à etapa do tratamento que se destina a preparar a água residual para ser submetida aos tratamentos subsequentes, consistindo num conjunto de operações unitárias destinadas à remoção de sólidos flutuantes ou em suspensão, areias, óleos e gorduras que poderão inibir os processos biológicos e/ou provocar danos no equipamento mecânico utilizado (Metcalf e Eddy, 2003). O quadro I.1, do anexo I, apresenta as operações unitárias que se incluem no tratamento preliminar/pré-tratamento.

### **2.1.2.2 Tratamento Primário**

O tratamento primário tem por objetivo a remoção da fração de sólidos sedimentável, resultando na formação de lamas primárias. O resultado deste processo é um efluente clarificado, preparando-o para o tratamento secundário. Esta segunda fase de tratamento pode permitir a redução do teor de Sólidos Suspensos Totais (SST) de 50 a 70 % e da concentração de  $CBO_5$  de 25 a 40 %. As operações unitárias utilizadas para este efeito são a sedimentação/decantação ou a flotação. Por decantação, no decantador primário, as partículas granulares e floculantes são removidas reduzindo assim os sólidos em suspensão e o valor de  $CBO_5$  (Comissão Europeia, 2001).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os sólidos suspensos na água depositam-se no fundo do decantador, isto é, sedimentam, por ação da força gravítica, formando as lamas primárias, que por sua vez são raspadas do fundo do decantador e removidas para o tanque de lamas mistas. Os sólidos em suspensão são removidos por um braço giratório ou ponte raspadora que, lentamente remove os resíduos à superfície e as lamas do fundo do decantador. A velocidade de sedimentação das partículas irá depender do seu tamanho, forma, densidade e características da água residual. Caso a água residual apresente uma quantidade excessiva de partículas coloidais (como por exemplo argila) o tempo de sedimentação é muito superior, tornando-se necessário remover essas partículas através de processos químicos como a coagulação/floculação. A adição de coagulantes proporciona a agregação da matéria fina em suspensão em flocos de maior dimensão facilitando o processo de decantação.

O quadro I.2, do anexo I, apresenta genericamente a descrição das operações unitárias aplicadas ao tratamento primário.

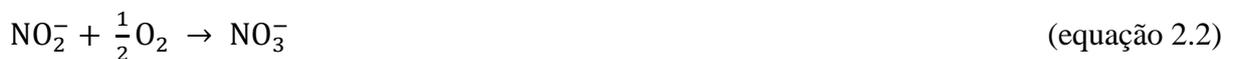
### **2.1.2.3 Tratamento Secundário**

O tratamento secundário é composto normalmente por um conjunto de processos biológicos que asseguram a remoção da matéria orgânica biodegradável da água residual, sob forma coloidal, dissolvida ou suspensa, e que não foi removida através do tratamento primário. A água residual é colocada em contacto com um meio enriquecido em microrganismos que vão metabolizar a matéria orgânica, removendo-a da fase líquida e incorporando-a na sua biomassa. Estes processos biológicos podem ser do tipo aeróbios (carecem de oxigénio), anaeróbios (não necessitam de oxigénio), anóxicos (sem oxigénio dissolvido e na presença de nitritos e/ou nitratos) e/ou processos mistos. Nesta fase de tratamento existe uma maior variedade de tecnologias, podendo ser de biomassa fixa, suspensa, híbridos e/ou sistemas combinados (APA, 2008).

Azevedo (2003) considera que o tratamento secundário deverá incluir um processo biológico adequado, existindo várias tecnologias que funcionam sobre princípios semelhantes. Destacam-se os sistemas aeróbios intensivos quer por biomassa suspensa (lamas ativadas), quer por biomassa fixa (biodiscos ou discos biológicos), e os sistemas aquáticos por biomassa suspensa (lagunagem).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), o tratamento secundário é caracterizado por um conjunto de processos biológicos aeróbios e anaeróbios responsáveis por remover a matéria orgânica biodegradável, dissolvida e coloidal, através do desenvolvimento de microrganismos como bactérias, fungos, protozoários, rotíferos e algas, em condições ambientais adequadas de temperatura, pH, presença/ausência de oxigênio, nutrientes e tempo de residência. A ocorrência de processos biológicos aeróbios permite ainda a remoção de nutrientes em excesso, como por exemplo azoto (azoto amoniacal, nitratos) e fósforo (fosfatos). As lamas secundárias são o resultado da remoção da biomassa e dos sólidos suspensos residuais do tratamento secundário através do processo de sedimentação.

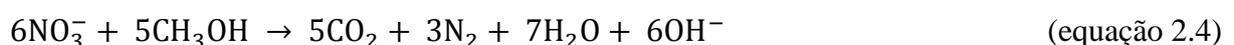
Os mesmos autores confirmam que é nesta fase do tratamento de águas residuais que ocorre o processo de nitrificação/desnitrificação, ou seja, dá-se um processo biológico responsável pela remoção do azoto, através da sua conversão em nitratos – nitrificação – e da conversão dos nitratos em azoto gasoso - desnitrificação. Durante a nitrificação, o ião amónio ( $\text{NH}_4^+$ ) é transformado em nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ), através da ação das bactérias *Nitrosomonas*, e os nitritos são transformados em nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), através da ação das bactérias *Nitrobacter* (equações 2.1 e 2.2):



A reação química global do processo de nitrificação representa-se pela equação química 2.3:



Durante a desnitrificação os nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) são transformados em azoto gasoso ( $\text{N}_2$ ), na ausência de oxigênio e na presença de uma fonte de carbono externa (por exemplo metanol, água residual não tratada ou lamas biológicas), através da ação de vários tipos de bactérias heterotróficas (*Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* e *Spirillum*). A reação química do processo de desnitrificação, usando metanol como fonte de carbono, representa-se pela equação 2.4:



A nitrificação pode ocorrer juntamente com os processos de tratamento secundário ou separadamente em tanques de nitrificação com arejamento, em leitos percoladores ou em discos biológicos. Em qualquer caso, é necessário: i) que a concentração de oxigênio dissolvido na água seja superior a 1,5 mg/L (a quantidade de oxigênio necessária para oxidar o azoto amoniacal a nitratos é cerca de 4,6 mg O<sub>2</sub>/mg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); ii) que o tempo de residência da água no órgão de tratamento seja adequado (porque as bactérias nitrificantes têm uma taxa de crescimento mais lenta do que as outras bactérias); e iii) manter o pH entre 7,2 e 8,6 (Metcalf e Eddy, 2003).

A desnitrificação pode ocorrer no mesmo órgão de tratamento em que ocorre a nitrificação ou separadamente em tanques de desnitrificação sem arejamento, em reatores de leito fluidizado ou em discos biológicos. Em qualquer caso, o órgão de tratamento deve ter uma zona anóxica. Normalmente, após a desnitrificação procede-se a uma filtração ou decantação das águas residuais (Metcalf e Eddy, 2003).

O quadro I.3, do anexo I, apresenta uma síntese das várias tecnologias disponíveis para o tratamento secundário de águas residuais.

#### **2.1.2.4 Tratamento Terciário**

A implementação de um tratamento terciário surge como um complemento aos tratamentos anteriores, tanto pela exigência de qualidade do meio recetor como pelo uso previsto para a água residual tratada. Tem como objetivo a remoção de determinados poluentes que ainda se mantêm na água residual após os tratamentos anteriores como por exemplo as partículas dificilmente decantáveis, microrganismos patogénicos, ou outros compostos como herbicidas ou pesticidas (APA, 2008).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), o tratamento terciário é constituído essencialmente pelo processo de desinfecção e controlo de nutrientes, onde é realizada uma remoção de Sólidos Suspensos Totais (SST) através de uma filtração em areia, seguida de uma remoção de microrganismos por desinfecção.

O processo de desinfecção tem por objetivo destruir ou inativar parcialmente os microrganismos patogénicos através da adição de agentes químicos, como por exemplo o ozono, cloro, dióxido de cloro e/ou hipoclorito de sódio; ou através de agentes físicos, como por exemplo a radiação ultravioleta. Antes da desinfecção por radiação ultravioleta, é realizada

uma filtração, removendo as partículas em suspensão que não foram removidas nos tratamentos anteriores e que podem afetar a eficiência da desinfecção (APA, 2008).

Existem ainda outra tipologia de tratamentos para a remoção de poluentes específicos que podem recorrer a operações físicas e/ou químicas. São exemplo a coagulação, floculação e decantação, adsorção sobre carvão ativado, troca iônica e osmose inversa (APA, 2008).

No quadro I.4, do anexo I, são descritos alguns exemplos de processos e operações unitárias que podem ser realizados nesta fase de tratamento.

Em suma, todos os sistemas implementados que no seu conjunto constituem o processo de tratamento de uma ETAR, devem conferir uma resposta adequada no sentido da redução do volume e carga poluente das descargas e da reutilização dos produtos finais resultantes, como é o caso das lamas de depuração.

### **2.1.3 Tratamento da Fase Sólida**

Seguindo a linha tratamento, no tratamento da fase líquida há formação de lamas primárias (provenientes da decantação primária no tratamento primário) e lamas secundárias (provenientes da decantação secundária do tratamento secundário). A este subproduto do tratamento das águas residuais dá-se o nome de lamas de depuração; cuja definição, origem e tipologia e composição será descrita nos subcapítulos 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.4.

Tendo em conta as características qualitativas das lamas de depuração, o seu tratamento resulta da necessidade de reduzir o seu teor em água e o seu volume, conseguir estabilizar a matéria orgânica de modo a controlar possíveis efeitos adversos como por exemplo os maus cheiros, reduzir a existência de agentes patogénicos perigosos à saúde pública e ainda a valorizar as lamas tratadas. Quando possível, é ainda realizada a valorização energética através da produção de biogás. As fases do tratamento de lamas de depuração podem variar de acordo com as técnicas e equipamento adotado (Quadro 2.4).

**Quadro 2.4** – Processos de tratamento de lamas de depuração de ETAR (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Tecnologia de tratamento	Objetivo do tratamento
<b>OPERAÇÕES PRELIMINARES</b>	
Trituração	Redução do tamanho de partícula
Gradagem	Remoção de materiais fibrosos
Desarenamento	Remoção de areia
Mistura	Homogeneização dos fluxos de sólidos
<b>ESPESSAMENTO</b>	
Espeçamento gravítico	
Por flotação de ar difuso	Redução de volume e obtenção da densidade, estrutura e teor de sólidos adequados ao encaminhamento para os processos subsequentes.
Centrifugação	
Gravidade em filtros banda	
Mesa de espessamento	
Tambor rotativo	
<b>ESTABILIZAÇÃO</b>	
Estabilização química (cal)	Redução dos agentes patogénicos presentes nas lamas e redução dos odores libertados (higienização).
Digestão anaeróbia	
Digestão aeróbia	
Compostagem	
<b>CONDICIONAMENTO</b>	
Condicionamento químico	Destabilização da carga iónica das partículas
Condicionamento térmico	
<b>DESIDRATAÇÃO</b>	
Leitos de secagem	Redução do teor de humidade e do volume das lamas.
Filtro banda	
Filtro prensa	
Centrífuga	
<b>SECAGEM</b>	
Por pulverização	Redução elevada do teor de humidade, do peso e volume das lamas.
Forno rotativo	

### 2.1.3.1 Operações Preliminares

À semelhança do que acontece no tratamento da fase líquida das águas residuais, também no tratamento da fase sólida algumas ETAR implementam uma série de operações prévias que irão facilitar os tratamentos seguintes. Segundo Metcalf e Eddy (2003), estas operações têm como objetivo:

- i) A redução e desintegração do material filamentososo de grandes dimensões evitando o risco de obstrução, entupimento ou envolvimento dos equipamentos - Trituração;
- ii) A separação de areias através da utilização de estruturas cilíndricas por meio da aplicação de forças centrífugas onde as partículas mais pesadas se movem para o lado de fora da secção cilíndrica e as lamas são descarregadas por uma saída lateral – Gradagem;

iii) A homogeneização das lamas primária e secundária que pode ocorrer em tanques de mistura construídos para o efeito – Mistura/Agitação (misturas homogeneizadas aumentam a eficiência de alguns processos posteriores como por exemplo a desidratação);

iv) O armazenamento, que visa corrigir as flutuações na produção de lamas, garantindo um caudal de lamas a tratar mais ou menos uniforme aos processos subsequentes e permitindo que se acumulem em condições de inoperacionalidade dos processos de tratamento.

### **2.1.3.2 Espessamento**

O processo de espessamento é utilizado para aumentar a concentração de sólidos nas lamas e permitir a redução do seu teor de humidade. A vantagem da redução do volume das lamas está na diminuição substancial dos custos nos tratamentos associada por exemplo à redução da capacidade dos tanques e do equipamento requerido, à redução da dosagem química necessária para o seu condicionamento e aos custos associados ao seu transporte e destino final, entre outros (Metcalf e Eddy, 2003).

Para Turovskiy e Mathai (2006), o espessamento além de aumentar a concentração de sólidos e diminuir o seu volume através da remoção de uma fração da água, permite que a lama espessada permaneça num estado fluido capaz de ser bombeada sem grande dificuldade. A redução do volume por espessamento tem o objetivo de aumentar a eficiência e diminuir os custos das medidas de tratamento de lamas posteriores. O espessamento de lamas ativadas é importante devido ao elevado volume de lamas com baixa concentração de sólidos que resulta do tratamento da fase líquida.

O produto resultante ainda é fluído, com um teor de água na ordem dos 70 a 90 %, com uma concentração muito elevada em sólidos mas que ainda pode ser bombeado (Comissão Europeia, 2001).

O processo de espessamento é efetuado normalmente em meios físicos como tanques de sedimentação, espessadores gravíticos, centrífugos ou de flotação, mas poderá ocorrer em equipamentos de outra natureza, nomeadamente os digestores anaeróbios e bacias de armazenamento de lamas (Metcalf e Eddy, 2003).

Na atualidade, os principais processos de espessamento de lamas são o espessamento gravítico, o espessamento por flotação de ar difuso e o espessamento mecânico, recorrendo a equipamentos eletromecânicos como mesas de espessamento, tambores rotativos e

centrífugas, onde a água removida das lamas é encaminhada para o início do tratamento da fase líquida (APA, 2008).

No tratamento de águas residuais, o processo de espessamento de lamas pode ser realizado através das seguintes operações:

#### **a) Espessamento gravítico**

Considerado um dos métodos mais comuns, é realizado num tanque semelhante a um tanque de sedimentação convencional, normalmente de forma circular e com uma ponte raspadora. Este sistema atua de forma simples, promovendo a separação das duas partes (líquida e sólida) através da decantação, ou seja, a força gravítica permite a deposição da lama espessada na base do tanque enquanto a água é recolhida na parte superior do mesmo. Alguns tanques estão equipados com um sistema de agitação lenta das lamas que promove a floculação e coagulação e, conseqüentemente a melhoria do processo de decantação acelerando o espessamento. Este processo tem a capacidade de espessar as lamas de 2 a 8 vezes mais, aumentando assim a sua concentração em algumas g/L para dezenas de g/L. Os custos de operação associados são relativamente baixos uma vez que só a ponte raspadora e o sistema de bombagem consomem energia (Metcalf e Eddy, 2003).

#### **b) Espessamento por flotação de ar difuso**

O processo de flotação de ar difuso é utilizado quando há um excedente de lamas ativadas e os sólidos presentes têm uma taxa de sedimentação muito baixa. A sua aplicação no tratamento de lamas de depuração implica a dissolução de ar sob pressão, através da qual são fixadas microbolhas que reduzem o peso específico dos sólidos suspensos e, posteriormente são trazidos à superfície e removidos por uma ponte raspadora. Em algumas situações torna-se necessária a adição de um polímero que vai reduzir a quantidade de matéria em suspensão (2 a 5 g de matéria ativa/kg de matéria seca). É um processo de espessamento com maior desempenho que o processo anterior, contudo os custos são superiores (Comissão Europeia, 2001).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os fatores que têm maior influência no espessamento por flotação de ar dissolvido são a relação ar/sólidos, as características das lamas (em particular o Índice de Volume de Lamas - IVL), a carga de sólidos, a carga hidráulica e a aplicação de polímero. Embora as concentrações de sólidos têm variado historicamente entre 3 e 6 % em

peso, é difícil prever a concentração de sólidos. A relação ar/sólidos é provavelmente o fator mais importante que interfere no desempenho do espessamento por flotação, uma vez que é definido como a proporção em peso de ar disponível para a flotação dos resíduos sólidos, variando de 2 a 4 %. O IVL é importante porque quando é inferior a 200 mg/L, usando doses nominais de polímero, o processo de espessamento atinge o melhor desempenho. Por sua vez, quando o IVL é mais elevado, são necessárias doses elevadas de polímero (Metcalf e Eddy, 2003).

### **c) Centrifugação**

O espessamento por centrifugação é usado para espessar e desidratar lamas configurando uma versão acelerada dos processos de decantação. No tipo de centrífuga mais comum, montada horizontalmente e afunilada no fim, a lama é introduzida continuamente e por norma é adicionado um polímero. A estrutura rotativa move as lamas para a periferia do rolo interno, que gira em velocidades diferentes, deslocando as lamas para a zona afunilada onde os sólidos são descarregados (Metcalf e Eddy, 2003).

De acordo com Turovskiy e Mathai (2006), o espessamento por centrifugação constitui uma aceleração da sedimentação através da utilização de uma força centrífuga. Enquanto no espessamento gravítico os sólidos sedimentam por ação da força de gravidade, no espessamento por centrifugação é aplicada uma força 500 a 3000 vezes superior à força da gravidade. A lama é introduzida por meio de um tubo de alimentação e um distribuidor num rotor constituído por um corpo e um parafuso transportador. O corpo e o parafuso giram a uma velocidade muito alta (o parafuso gira um pouco mais rápido que o corpo). O parafuso transporta os sólidos para a parte coniforme do corpo enquanto o filtrado é descarregado numa extremidade. Este processo é utilizado habitualmente no espessamento de lamas ativadas, sendo raramente usado no espessamento de lamas primárias uma vez que estas contêm material abrasivo prejudicial para a centrífuga. A utilização de polímeros pode melhorar a eficiência na remoção de sólidos numa taxa de 90 % a mais de 95 %. Este equipamento apresenta a vantagem de requerer menos espaço e reduzir os potenciais odores e operações de limpeza, contudo, os custos de manutenção e de energia podem ser substanciais sendo por isso um processo indicado para utilização em ETAR de grandes dimensões.

#### **d) Gravidade em filtros banda**

Segundo Turovskiy e Mathai (2006), o espessamento por gravidade em filtros banda emprega o princípio de separação sólido/líquido através dos processos de coagulação e floculação de sólidos e a drenagem da água é feita através de um cinto em tecido ou malha que se encontra em movimento. Dependendo do condicionamento das lamas é adicionado um polímero catiónico de modo a neutralizar a carga negativa dos sólidos biológicos.

Para Metcalf e Eddy (2003), o desenvolvimento do espessamento por gravidade em filtros banda resultou da aplicação de prensas na desidratação de lamas de depuração. A sua aplicação é extremamente eficaz em lamas que apresentam uma concentração de sólidos inferior a 2 %. Este equipamento apresenta uma banda que se move sobre rolos acionados a uma velocidade variável, é adicionado um polímero à lama que por sua vez é introduzida primeiro numa caixa de alimentação e posteriormente distribuído uniformemente por toda a largura da banda em movimento, enquanto o filtrado é escoado através do movimento da própria banda.

#### **e) Mesa de espessamento**

O desenvolvimento de uma mesa de espessamento gravítica surgiu da necessidade de realizar o espessamento contínuo de lamas primárias urbanas ou industriais (de 5 a 30 g/L). As lamas podem ser processadas em três etapas distintas: floculação, drenagem por gravidade e expressão (opcional). O processo começa com o condicionamento das lamas, por adição de polímero, importante para aglomerar os sólidos suspensos das lamas em flocos, promovendo assim a separação inicial dos sólidos do líquido. Consiste em injetar um polímero às lamas onde, por norma, o floculante é injetado a montante da bomba de lamas, de modo a tirar partido do efeito misturador progressivo da bomba. O condicionamento é, também, concebido por forma a dar estrutura aos flocos das lamas, para que eles possam suportar o aumento gradual das ações de expressão e corte. Geralmente, uma mesa de espessamento não pode funcionar sem um condicionamento por polímero (Dominique, 2012).

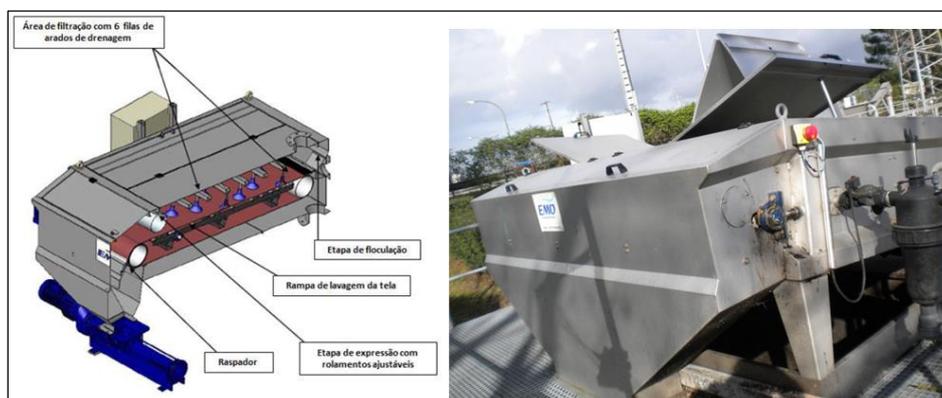
A lama floculada é espalhada sobre uma tela filtrante, com o auxílio de um tubo de distribuição, onde a água livre produzida durante o condicionamento das lamas escorre através dos poros da tela. A importância do condicionamento das lamas numa mesa de espessamento pode ser prontamente observada nesta fase, pois sem o condicionamento a lama líquida iria ficar acumulada na secção de drenagem por gravidade, e transbordar para fora das

margens da tela. O processo de filtração gravítica é melhorado por várias filas de arados fixos dispostos em quincôncio (Dominique, 2012).

No final da zona de filtração existe um rolo de prensagem ajustável, onde a lama espessada é retirada da tela de filtração por um raspador de plástico e descarregada numa bomba de remoção ou num tanque de armazenamento. Para manter as telas de filtração com o máximo da sua capacidade de filtração, elas são lavadas continuamente, no seu percurso de regresso à zona de espessamento (Figura 2.2).

Turovskiy e Mathai (2006) referem que esta técnica pode ser aplicada no espessamento de lamas com concentrações iniciais tão baixas como 0,4 % e podem ser alcançadas eficiências na remoção de sólidos superiores a 95 %. Outra vantagem é o custo relativamente moderado e o consumo de energia relativamente baixo, estando associada ao espessamento de lamas ativadas, lamas digeridas, e lamas resultantes do tratamento de águas residuais industriais. Contudo, nesta tecnologia, o processo de espessamento está dependente do polímero, sendo necessária a adição de cerca de 1,5 a 6 g de matéria ativa/kg de matéria seca. As desvantagens estão no potencial de odor e a exigência moderada da atenção do operador para otimizar a alimentação de polímero e as velocidades da tela.

O funcionamento de uma mesa de espessamento não necessita em si de uma elevada mão-de-obra durante o período de atividade, porém, o técnico operativo deve supervisionar o seu funcionamento e possíveis alterações das características das lamas. Esta tecnologia tem a necessidade de periodicamente proceder à substituição da tela e tem associado um consumo de água para a lavagem das telas que pode ser de 1,5 a 7,5 m<sup>3</sup>/h; a vantagem é que pode e deve ser reutilizada a água tratada na ETAR (designada como água de serviço).



**Figura 2.2** – Mesa de espessamento de lamas de depuração de ETAR (Fonte: adaptado de Dominique, 2012).

#### **f) Tambor rotativo**

O espessamento de lamas de depuração através do tambor rotativo tem o principal objetivo de reduzir o seu volume antes destas serem enviadas para o processo de desidratação. Este equipamento consiste num conjunto de telas rotativas, de forma cilíndrica, colocadas horizontalmente e um sistema de condicionamento (incluindo um sistema de alimentação de polímero), onde o polímero é misturado com as lamas no tambor de mistura. O tambor superior, com paredes impermeáveis, é responsável pelo acondicionamento e agitação das lamas, enquanto o tambor inferior, alimentado com a lama condicionada misturada com polímero, apresenta paredes semipermeáveis, que permitem, devido ao movimento rotacional do sistema, o escoamento do filtrado por uma das extremidades. São normalmente utilizados em pequenas e médias instalações para o espessamento de lamas ativadas e estão disponíveis em capacidades de até 24 L/s (Metcalf e Eddy, 2003).

Em casos onde é necessária a adição de uma elevada quantidade de polímero para o condicionamento, este fator pode ser motivo de preocupação devido à sensibilidade dos flocos e do potencial de corte no tambor rotativo (FEM, 1998 citado por Metcalf e Eddy, 2003).

Turovskiy e Mathai (2006) descrevem o funcionamento de um tambor rotativo como semelhante ao funcionamento de uma mesa de espessamento. É feita uma separação da parte sólida da parte líquida através de processos de coagulação e floculação dos sólidos e o escoamento do filtrado é realizado recorrendo a um meio poroso rotativo. Trata-se de um tambor com rede metálica e chapa perfurada, tela de aço inoxidável, tela em poliéster ou uma combinação de aço inoxidável, onde todo o processo vai depender do condicionamento das lamas, normalmente realizado através da adição de um polímero. Este dispositivo é composto por um tambor de alimentação rotativo interno e apresenta um parafuso integrado que transporta as lamas espessadas para fora do tambor. A água livre passa através das perfurações do tambor enquanto a lama espessada fica dentro do tambor. O tambor apresenta uma barra de pulverização que se estende por todo o comprimento do mesmo e vai permitir a sua limpeza, evitando assim a colmatagem das aberturas. O espessamento por tambor rotativo pode ser utilizado em lamas cuja concentração inicial pode ser tão baixa como 0,5 %, e apresenta uma elevada eficiência. As vantagens deste equipamento estão no menor requisito de espaço, no custo relativamente baixo de operação e o baixo consumo de energia. Além de

estar dependente da aplicação de polímero, é também sensível à tipologia de polímero, devido ao potencial de corte dos flocos no tambor rotativo.

Tal como a mesa de espessamento, o tambor rotativo pode ser usado no espessamento de lamas ativadas, lamas digeridas, e em algumas lamas resultantes do tratamento de águas residuais industriais, estando associados à aplicação a ETAR de pequena e média dimensão.

O tambor rotativo de espessamento é uma estrutura completamente fechada e coberta que está equipada com uma porta removível para inspeção (Figura 2.3). De modo a melhorar a sicidade da lama espessada, é possível ajustar o ângulo do tambor rotativo. A inclinação do tambor irá definir o tempo de residência e conseqüentemente o grau de secagem final (Limousin, 2008).



**Figura 2.3** – Tambor rotativo de espessamento de lamas de depuração de ETAR (Fonte: ETAR de Penices).

O espessamento através do tambor rotativo não necessita de uma elevada mão-de-obra no seu funcionamento. Contudo, na sua exploração é o técnico operativo o responsável pela mistura do polímero na unidade de preparação de polímero, da dosagem e monitorização da utilização, devendo observar a alimentação e a formação do floco vários vezes por dia, fazendo os ajustes necessários. Esta tecnologia tem associado um consumo de água para a lavagem do tambor que pode ser de 2,0 a 4,0 m<sup>3</sup>/h, embora possa ser reutilizada a água considerada de serviço.

### **2.1.3.3 Estabilização**

Segundo Turovskiy e Mathai (2006), a estabilização de lamas de águas residuais permite convertê-las a um produto estável para o seu uso ou disposição. Embora existam várias formas de estabilizar as lamas, a sua aplicação está condicionada pelo destino final definido no escoamento das lamas.

O processo de estabilização de lamas de depuração é utilizado principalmente para reduzir a presença de agentes patogénicos, eliminar odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação. O sucesso da concretização destes objetivos está relacionado com o efeito da operação de estabilização no processamento da fração volátil e/ou orgânica das lamas. A sobrevivência dos agentes patogénicos, a libertação de odores e a putrefação ocorre quando os microrganismos conseguem desenvolver-se na fração orgânica das lamas. Os meios necessários para eliminar estas condições estão relacionados principalmente com a redução biológica do conteúdo volátil e na adição de produtos químicos, tornando a lama inadequada à propagação de microrganismos. Para além de razões estéticas e de saúde citadas acima, a estabilização é utilizada na redução do volume, na produção de gás combustível (metano), e na melhoria do processo seguinte, a desidratação de lamas (Metcalf e Eddy, 2003).

Metcalf e Eddy (2003) ainda referem que o importante é considerar a quantidade de lamas a ser tratada, o contexto de integração do processo de estabilização com as outras unidades de tratamento, e os objetivos do processo em si. Os objetivos da estabilização estão associados a condicionantes legais, uma vez que se as lamas têm geralmente como destino final a aplicação na agricultura, a redução de agentes patogénicos deve ser um dos principais aspetos a considerar, respeitando a regulamentação legal exigida na sua aplicação.

Os principais métodos utilizados para a estabilização são: a estabilização química, usualmente com cal, a digestão anaeróbica, a digestão aeróbia e a compostagem. Este processo pode não estar implementado em todas as ETAR, estando associadas a pequenas infraestruturas até às de maior dimensão (Metcalf e Eddy, 2003).

#### **a) Estabilização química por adição de cal**

O processo de estabilização química é definido pela adição de cal às lamas de depuração com o intuito de elevar o seu pH de modo a destruir ou inibir os microrganismos responsáveis pela degradação dos compostos orgânicos. Este tratamento funciona como uma desinfeção das

lamas, onde é aumentado o seu conteúdo em matéria seca, tornando mais difícil o seu manuseamento. Este aumento de matéria seca vai estar dependente da matéria inicial e da quantidade de cal adicionada. Normalmente é adicionada 30 % de cal à massa seca das lamas de modo a evitar a fermentação a longo prazo. No entanto, este acréscimo de 30 % no peso das lamas vai implicar um aumento dos custos de transporte e eliminação, sendo que as lamas quando desidratadas podem endurecer durante o armazenamento (Turovskiy e Mathai, 2006).

Os mesmos autores indicam ainda que o processo de estabilização química através da adição de cal apresenta diversas vantagens sobre os restantes processos uma vez que tem um baixo custo de implementação e trata-se de um processo viável e de fácil operação onde as lamas estabilizadas podem substituir parcial ou totalmente os agentes usados nos solos ácidos (de modo aumentar a alcalinidade).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), no processo de estabilização com a adição de cal, esta é adicionada às lamas não tratadas numa quantidade suficiente para elevar o pH a 12 ou a um valor superior. O pH elevado cria um ambiente que interrompe substancialmente ou retarda as reações microbianas que podem de outra forma levar à produção de odores. Este processo pode ainda inativar vírus, bactérias e outros microrganismos presentes. Se porventura não for adicionada uma quantidade de cal suficiente este vai descer à medida que as reações vão ocorrendo. Assim, desde que o pH seja mantido a um valor superior a 12, a lama não vai apodrecer, não se criam odores, ou há um perigo para a saúde pública.

Azevedo (2003) refere que a aplicação de cal não motiva a redução de matéria orgânica das lamas. O funcionamento do processo de estabilização/desinfecção dos microrganismos presentes nas lamas é destacado através da elevação do pH das mesmas (para valores superiores a 12), com recurso a cal hidratada  $[Ca(OH)_2]$ , juntamente com o aumento da temperatura para valores superiores a 60 °C, quando utilizada sob a forma de cal viva (CaO).

A estabilização de lamas de depuração através da cal viva, pode ser realizada de três formas distintas, nomeadamente com a adição de cal antes ou depois da desidratação das lamas ou ainda recorrendo a tecnologias avançadas de estabilização alcalina (Metcalf e Eddy, 2003).

Duarte e Reis (2002) (citados por Florindo, 2009) consideram que as variáveis condicionantes da eficácia da estabilização química por adição de cal e higienização de lamas de ETAR são a quantidade de cal adicionada à lama, as condições de mistura e o tempo de armazenamento.

## **b) Digestão Anaeróbia**

A digestão anaeróbia é um dos processos mais antigos utilizados para a estabilização de lamas e envolve a decomposição da matéria orgânica e inorgânica na ausência de oxigênio. As principais aplicações da digestão anaeróbia são na estabilização de lamas concentradas produzidas a partir do tratamento de águas residuais municipais e industriais. Foram realizados grandes progressos na compreensão e controlo do processo, no dimensionamento dos digestores e na conceção e aplicação dos equipamentos. A problemática da conservação e recuperação de energia desencadeou o crescente interesse na valorização energética das lamas de depuração, sendo a digestão anaeróbia um processo dominante na estabilização de lamas pela produção de biogás que lhe está associada (Metcalf e Eddy, 2003).

A metanização, conhecida como digestão anaeróbia, tem como principais objetivos a redução de volume, a estabilização e a desinfeção parcial das lamas a tratar. Este processo prende-se com o confinamento das lamas num tanque a uma temperatura na ordem dos 35 °C, onde o biogás produzido é, na maioria das vezes, utilizado nas caldeiras para manter a temperatura do digestor a 35 °C, podendo igualmente ser utilizado nas unidades de cogeração e produção de eletricidade. Geralmente as lamas devem ser mantidas no digestor por um intervalo igual ou superior a 20 dias, garantindo assim o sucesso do processo de estabilização e desinfeção (Comissão Europeia, 2001).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os três tipos de reações químicas e bioquímicas que ocorrem na digestão anaeróbica são a hidrólise, a fermentação, também denominada de acidogénese (formação de compostos orgânicos solúveis de cadeia curta e ácidos orgânicos) e a metanogénese (conversão bacteriana de ácidos orgânicos em metano e dióxido de carbono).

Azevedo (2003) descreve o processo em três estágios sequenciais:

- i) 1º Estágio: fase hidrolítica – ocorre a hidrólise dos complexos orgânicos sólidos, celulose, proteínas e lípidos que pela ação de enzimas extracelulares são degradados a formas solúveis, ácidos gordos orgânicos, álcoois, dióxido de carbono e amónio;
- ii) 2º Estágio: fase acidogénea – as bactérias acidogéneas transformam os compostos anteriormente referidos em ácido acético, ácido propiónico, hidrogénio, anidrido carbónico, sulfureto de hidrogénio e em compostos orgânicos de baixo peso molecular;

iii) 3º Estágio: fase metanogénea – a ação das bactérias metanogénicas converte os compostos obtidos na fase acidogénea em dióxido de carbono e metano. O biogás produzido, devido ao metano, possibilita a valorização energética das lamas.

Metcalf e Eddy (2003) evidenciam que os principais fatores ambientais no processo de digestão anaeróbica são o tempo de retenção de sólidos, o tempo de retenção hidráulico, a temperatura, a alcalinidade, o pH, a presença de substâncias inibidoras (materiais tóxicos) e a biodisponibilidade de nutrientes e metais.

### **c) Digestão Aeróbia**

A digestão aeróbia é o processo de estabilização de lamas considerado como o mais utilizado em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) que tratam menos de 20000 m<sup>3</sup>/d. É descrito como um processo de oxidação e decomposição da parte orgânica das lamas na presença de oxigénio, por microrganismos, em tanques especiais que podem ser abertos ou fechados (Turovskiy e Mathai, 2006).

O processo de digestão aeróbia pode ser usado no tratamento de lamas ativadas, na mistura de lamas ativadas e lamas primárias, ou em lamas residuais de instalações de arejamento prolongado (WEF, 1998, citado por Metcalf e Eddy, 2003).

Na estabilização por digestão aeróbia, as lamas são colocadas num tanque com microrganismos aeróbios, onde é gerado calor por ação das bactérias ao degradar a matéria orgânica. Em condições adequadas, a temperatura pode subir a valores iguais ou superiores a 70 °C. Se durante um certo período de tempo as lamas estão sujeitas a altas temperaturas, os organismos patogénicos são destruídos. Por norma, submetem-se as lamas a uma temperatura de 50 a 65 °C num período de cinco a seis dias. Nestas condições, a matéria volátil é reduzida em cerca de 40 %. O processo em si é relativamente simples e acessível na sua conceção porém apresenta um elevado custo energético, pode ser cinco a dez vezes superior à digestão anaeróbia (Comissão Europeia, 2001).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), as vantagens da digestão aeróbia, quando comparada com a digestão anaeróbia são:

- i) Se a redução de sólidos voláteis num digestor aeróbio for bem operada é possível alcançar resultados aproximadamente iguais aos obtidos por via anaeróbia;
- ii) O sobrenadante é mais purificado, ou seja, com concentrações de CBO reduzidas;

- iii) Há formação de um produto final biologicamente estável e inodoro (húmus);
- iv) A sua operação é relativamente fácil e o custo de capital associado é mais baixo e, trata-se de um sistema adaptado para digerir biomassa rica em nutrientes.

Todavia, os mesmos autores enumeram uma série de desvantagens:

- i) Elevados custos de energia associados ao fornecimento do oxigénio necessário;
- ii) Lama dificilmente desidratada por sistemas mecânicos;
- iii) Processo significativamente afetado por fatores como a temperatura, a localização, a geometria do tanque, a concentração de sólidos, o tipo de mistura/dispositivo de arejamento e, o tipo de material do reservatório;
- iv) Não existe potencial de valorização energética das lamas, uma vez que não existe formação de biogás.

#### **d) Compostagem**

A compostagem é o processo de transformação da matéria orgânica que ocorre permanentemente na Natureza, podendo ser acelerado pela intervenção humana. O Homem pretende estimular o processo natural, de forma controlada, tendo para isso a necessidade de garantir condições físico-químicas e ambientais adequadas para o sucesso da operação. Existem variadas definições de compostagem, alguns autores defendem que há necessidade de uma intervenção humana para o processo ocorrer, enquanto outros afirmam que o homem apenas consegue intervir na celeridade do mesmo, controlando fatores como a temperatura, arejamento e composição dos resíduos (Brito, 2003).

A compostagem de lamas de depuração teve início em países como a França, Alemanha, Hungria e Japão usando turfa e estrume como materiais. Mais tarde, países europeus do norte como a Finlândia, Suécia e Holanda seguiram a prática, apesar do clima mais frio. A Rússia começou a compostagem usando resíduos sólidos municipais e mais tarde uma mistura de resíduos sólidos e lamas desidratadas. Enquanto os Estados Unidos só começaram a realizar a compostagem de lamas de depuração apenas no início dos anos 70 (Turovskiy e Mathai, 2006).

A compostagem é uma alternativa rentável e ambientalmente saudável para a estabilização de lamas de depuração de águas residuais. As normas de qualidade do ar cada vez mais rigorosas e os requisitos de eliminação de lamas, juntamente com a escassez prevista de aterros

sanitários disponíveis para a sua aceitação aceleraram o desenvolvimento do processo de compostagem como uma opção de gestão das lamas viável (Metcalf e Eddy, 2003).

Segundo Brito (2003), a compostagem é um processo de decomposição de materiais orgânicos que tem por finalidade obter um material estável, rico em húmus e nutrientes minerais, com características físicas, químicas e biológicas superiores aos encontrados na (s) matéria-prima (s).

Trata-se de um processo no qual o material orgânico é submetido a uma degradação biológica obtendo um produto final estável (húmus). Aproximadamente cerca de 20 a 30 % dos sólidos voláteis são convertidos em dióxido de carbono e água onde, à medida que o material orgânico das lamas se decompõe, o composto aquece até à temperatura de pasteurização na gama de 50 a 70 °C, e os organismos patogénicos entéricos são destruídos. Quando a biomassa é devidamente compostada pode ser aplicada como fertilizante no solo de unidades agrícolas ou hortícolas (WEF, 1995b citado por Metcalf e Eddy, 2003).

Turovskiy e Mathai (2006) descrevem a compostagem em três fases sucessivas, a fase mesófila, a fase termófila e a fase de cura. Na fase inicial (mesófila) a pilha de compostagem sofre um aumento de temperatura até valores na ordem dos 40 °C. Na fase termófila, a temperatura aumenta de 40 °C para 70 °C. Enquanto na fase final de cura (também conhecida como fase de arrefecimento), a atividade microbiana é reduzida e o processo de compostagem é concluído. No decorrer das três fases, todos os microrganismos estão ativos: na fase mesófila, as bactérias produtoras de ácido vão metabolizar os hidratos de carbono, açúcares e proteínas. Na fase termófila, as bactérias termófilas tornam-se ativas e metabolizam proteínas, lipídios e gorduras, sendo responsáveis por grande parte do calor produzido (nestas duas fases do processo estão presentes fungos e actinomicetes, responsáveis pela destruição de uma grande variedade de compostos orgânicos complexos e celulose) e, na fase final de cura, o composto vai amadurecer e estabilizar, caso contrário vai reaquecer quando for devidamente armazenado.

Para Metcalf e Eddy (2003), a compostagem pode realizar-se em condições de aerobiose ou anaerobiose, no entanto, a sua aplicação ao tratamento de lamas de depuração de águas residuais é principalmente em condições aeróbias (mesmo nunca sendo um processo totalmente aeróbio). Em condições de aerobiose, além de minimizar o potencial de odores

desagradáveis, a decomposição dos materiais é acelerada resultando no aumento da temperatura necessária para a destruição dos agentes patogênicos.

O processo de compostagem como tratamento de estabilização de lamas de ETAR tem as suas limitações, destacando-se: a produção diária de lamas prevista na ETAR e a disponibilidade de terreno para a construção da central de compostagem. Existem ainda uma série de fatores que afetam o tipo de sistema de compostagem como por exemplo a natureza das lamas produzidas, a estabilização, se for o caso, das lamas anteriormente à compostagem, e o tipo de equipamento de remoção de água e produtos químicos utilizados. A estabilização prévia das lamas, por digestão aeróbia ou anaeróbia, pode resultar numa redução do tamanho da central de compostagem até 40 % (Metcalf e Eddy, 2003).

#### **2.1.3.4 Condicionamento**

O condicionamento de lamas refere-se ao processo de melhoria da separação das fases sólido-líquido, sendo uma parte importante do espessamento e desidratação mecânica das lamas. Além de melhorar a remoção da água a partir dos sólidos, alguns dos processos de condicionamento também se configuram como agentes desinfetantes das lamas (Turovskiy e Mathai, 2006)

O condicionamento de lamas é um contributo significativo na eficiência das operações de espessamento e desidratação a que as lamas são posteriormente sujeitas. As lamas de depuração são condicionadas com o objetivo de melhorar as suas características e os métodos mais comuns envolvem a adição de químicos e o tratamento térmico.

##### **a) Condicionamento Químico**

Metcalf e Eddy (2003) referem que o condicionamento químico é utilizado antes dos sistemas mecânicos de remoção de água como a centrifugação ou o filtro de prensa. A utilização de produtos químicos no condicionamento de lamas de ETAR é relativamente económico devido ao aumento dos rendimentos do processo de remoção de água, podendo reduzir o teor de humidade de entrada de 90 a 99 % para 65 a 85 %, dependendo da natureza dos sólidos a serem tratados. Os produtos químicos utilizados incluem o cloreto férrico, cal, alumínio, e polímeros orgânicos. A adição de sais de ferro e cal podem aumentar a matéria seca das lamas de 20 a 30 %. Os fatores que afetam a seleção do tipo e dosagem dos agentes de

condicionamento são as propriedades dos sólidos (fonte, concentração, idade, pH e alcalinidade), tipo de mistura e os dispositivos de desidratação a serem usados.

## b) Condicionamento Térmico

O condicionamento térmico envolve o aquecimento das lamas por curtos períodos de tempo sob pressão. O tratamento coagula os sólidos, rompe a estrutura em gel, e reduz a afinidade da água das lamas, resultando numa lama esterilizada. O sobrenadante apresenta um valor elevado de CBO e pode requerer um tratamento especial antes de ser reintroduzido no processo de tratamento de águas residuais (Metcalf e Eddy, 2003). Naturalmente este processo apresenta uma série de vantagens e desvantagens enumeradas no quadro 2.5. O interesse na sua aplicação é diminuto devido às desvantagens descritas.

**Quadro 2.5** – Vantagens e desvantagens do condicionamento térmico nas lamas de ETAR (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teor de sólidos na lama desidratada varia de 30 a 50 %, dependendo do grau de oxidação conseguida;</li> <li>▪ A lama processada por norma não requer condicionamento químico;</li> <li>▪ Este processo estabiliza as lamas e destrói os organismos patogénicos;</li> <li>▪ A lama processada terá um valor de aquecimento de 28 a 30 kJ/g de sólidos voláteis;</li> <li>▪ O processo é relativamente insensível às alterações da composição das lamas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevados custos de capital devido à sua complexidade mecânica e a utilização de materiais resistentes à corrosão;</li> <li>▪ É obrigatória uma supervisão rigorosa, operadores especializados e um forte programa de manutenção preventiva;</li> <li>▪ O processo produz correntes laterais com altas concentrações de compostos orgânicos, nitrogénio amoniacal e cor;</li> <li>▪ São produzidos gases odoríferos significativos que exigem grande contenção, tratamento e/ou eliminação;</li> <li>▪ Formação de incrustações nos permutadores de calor, nas tubagens, e o reator requer uma lavagem ácida ou jatos de água de alta pressão.</li> </ul>

### 2.1.3.5 Desidratação

Na desidratação de lamas de depuração são conhecidos e aplicados diversos tipos de processos, que se distinguem entre si como processos naturais, baseados em fenómenos de evaporação e/ou de percolação, ou processos mecânicos, baseados na utilização de meios físicos, requerendo a utilização da energia externa (Metcalf e Eddy, 2003).

A desidratação de lamas compreende a remoção de parte da sua humidade com vista a uma redução do volume superior ao obtido através do processo anterior de espessamento. A escolha

do dispositivo de desidratação mais adequado deve ser em função do tipo de lamas a ser desidratado, o espaço disponível e o seu destino final (Turovskiy e Mathai, 2006).

O processo de desidratação tem como objetivo extrair o máximo de água presente nas lamas, tendo em atenção a relação custo/benefício, pois as vantagens em desidratar as lamas relacionam-se com o menor custo de transporte das mesmas para o destino final e na facilidade do seu manuseamento. De um modo geral, numa ETAR de grandes dimensões, a desidratação mecânica de lamas prende-se pela instala o de determinados equipamentos como filtros banda, filtros prensa ou centrífugas. Após a desidrata o, as lamas são temporariamente armazenadas em contentores ou silos com o volume adequado, que permita armazenar as lamas desidratadas até que estas sejam encaminhadas para valoriza o ou destino final adequado (APA, 2008).

Em pequenas instala es, com recursos limitados, mas com disponibilidade de espaço   selecionado o uso de sistemas naturais de desidrata o, nomeadamente leitos de secagem.

#### **a) Leitos de Secagem**

Uma das técnicas mais simples na desidrata o de lamas de ETAR são os leitos de secagem ao ar livre. Esta técnica   usada principalmente em infraestruturas de pequena dimensão, sempre que haja uma área mínima disponível a custos acessíveis e o clima local seja favorável para a opera o dos leitos durante todo o ano, uma vez que   uma técnica que pode ser menos eficiente em climas frios. Constituídos por uma camada de areia e cascalho com cerca de 0,3 m de espessura, as lamas são espalhadas e a água   drenada e enviada ao início da linha de tratamento da ETAR enquanto as lamas secam por meio da radia o solar. Este processo permite obter um teor de matéria seca de 40 a 50 % em alguns países, dependendo da dura o da secagem (Comissão Europeia, 2001).

A desidrata o de lamas através de leitos de secagem apresenta como principais vantagens os reduzidos: i) custos de capital; ii) consumos de energia; iii) consumo de produtos químicos; iv) nível de especializa o dos operadores; v) cuidados de opera o; vi) sensibilidade   varia o das características das lamas, permitindo obter um teor de sólidos mais elevado do que na maioria dos métodos mecânicos. As desvantagens incluem os requisitos de espaço elevados, a necessidade das lamas estarem estabilizadas, a vulnerabilidade aos efeitos climáticos, o potencial de incomodidade   vizinhança devido   liberta o de odores, e o facto de que a remo o das lamas requer um trabalho intensivo.

Os leitos de secagem de lamas podem ser classificados como: leitos de areia convencional, leitos pavimentados, leitos com meios de filtração artificial, e leitos assistidos por vácuo (Turovskiy e Mathai, 2006).

#### **b) Filtro banda**

O filtro banda é um sistema de desidratação de lamas baseado em princípios do condicionamento químico, drenagem gravítica e aplicação de pressão mecânica. Este processo de desidratação normalmente é repartido em zona de condicionamento com polímero, zona de drenagem por gravidade da água em excesso, zona de baixa pressão e a zona de alta pressão (Metcalf e Eddy, 2003).

A desidratação através de filtros banda é realizada através de uma estrutura de desidratação de alimentação contínua com duas telas porosas em movimento que têm uma zona de drenagem por gravidade e zonas de pressão aplicadas mecanicamente (Turovskiy e Mathai, 2006).

Existem diferentes tipos de filtros banda que dependem do nível de pressão aplicada à lama, baixa pressão, média ou alta, respetivamente cerca de 4, 5 e 7 bar. O processo pode ser combinado com uma mesa de espessamento gravítica permitindo aumentar o nível de matéria seca de 10 a 20 %, dependendo do tipo de lama e da pressão aplicada (Comissão Europeia, 2001).

Segundo Turovskiy e Mathai (2006), as vantagens dos filtros banda incluem o baixo custo operacional e de capital, baixo consumo de energia e facilidade de manutenção. Contudo, a desidratação através destes filtros é dependente da adição de polímero, na ordem de 1 a 10 g de matéria ativa/kg de matéria seca. As desvantagens dos filtros banda prendem-se essencialmente com a sensibilidade às características das lamas na alimentação (nomeadamente a variação da sua concentração), limites na capacidade hidráulica e maior potencial de odor. Atualmente já estão disponíveis máquinas com coberturas para conter os odores e ventilação através de equipamentos de controlo de odor. Segundo estes autores, os filtros banda foram considerados o equipamento de desidratação mais utilizado no mundo.

#### **c) Filtro prensa**

A desidratação por filtros prensa é um processo descontínuo em que a desidratação é alcançada forçando a água das lamas a altas pressões (Turovskiy e Mathai, 2006).

De todos os sistemas de desidratação convencionais, o filtro prensa é aquele que consegue atingir o maior grau de desidratação, chegando a alcançar lamas com um teor de sólidos entre 30 e 45 %. Todavia, os custos de investimento são bastante elevados, especialmente para altas capacidades. Por norma, na desidratação são utilizados filtros prensa de placas (volume fixo) ou de membranas (volume variável). Os filtros prensa convencionais consistem em blocos de placas verticais revestidos por telas filtrantes entre as quais a lama é injetada sob pressão. O filtrado é recolhido antes de se separar as placas. Os bolos, em seguida, caem e são recolhidos. Em alguns casos, são colocadas membranas entre as placas, que podem ser preenchidas com água, a fim de melhorar a taxa de desidratação. Contudo, neste caso, os custos operacionais são significativamente mais elevados. O condicionamento preliminar é geralmente necessário, com sais ou cal (Comissão Europeia, 2001).

#### **d) Centrífuga**

As centrífugas podem desidratar com sucesso uma enorme diversidade de lamas e embora seja o equipamento mais oneroso, não exige um acompanhamento permanente no seu funcionamento, possibilita a operação automática, ocupa menos espaço e produz menos odores. As principais desvantagens são os custos de manutenção elevados, desgaste rápido, níveis de ruído elevados, vibrações e consumos de energia elevados devido ao facto das máquinas trabalharem com altas velocidades rotativas (Metcalf e Eddy, 1993).

A centrifugação é passível de ser usada tanto como um processo de espessamento como um processo de desidratação. As centrífugas são utilizadas na desidratação de lamas porque são compactas, apresentam um rendimento elevado, e são simples de operar. O processo pode produzir um aumento na matéria seca de até 15 a 25 % e também é possível utilizar uma centrífuga de alto rendimento, ganhando assim um aumento suplementar de 5 % em matéria seca. No entanto, as necessidades de energia deste processo são significativas além do facto de ser necessário adicionar um polímero às lamas (Comissão Europeia, 2001).

#### **2.1.3.6 Secagem Térmica**

A Comissão Europeia (2001) define o processo de secagem de lamas de ETAR como um tratamento térmico onde o calor pode ser transferido direta ou indiretamente para as lamas. A primeira situação exige um contacto direto entre os gases quentes e as lamas, onde se destaca o secador de tambor rotativo e o secador de leito fluidizado. No segundo caso, o calor é

transferido para o material a secar através da condução de calor por uma superfície de transferência de calor, logo o meio de aquecimento não está em contacto com as lamas. A secagem ocorre a temperaturas diferentes, no entanto, a altas temperaturas (superiores a 300 °C), esta deve ser cuidadosamente controlada para garantir que não há formação de dioxinas e compostos furanos. O nível de matéria seca alcançado está entre 35 e 90 %. As necessidades de energia para a secagem são muito superiores às da desidratação quando se compara o volume de água extraída e, portanto, na maioria dos casos a secagem ocorre após uma fase de desidratação. É de salientar que os requisitos de energia são importantes, podendo estes ser bastante reduzidos se na ETAR estiver disponível uma fonte de energia, por exemplo através da produção de biogás.

## **2.2 Caracterização das lamas de ETAR e a sua produção em Portugal e na União Europeia**

### **2.2.1 Enquadramento Legal**

A gestão de lamas de ETAR está abrangida por um quadro legal resumido no quadro II.1 do anexo II, que apresenta de forma sumária a evolução cronológica da legislação comunitária e nacional vigente, com implicações diretas e indiretas na produção de lamas, processos de tratamento e destino final.

De destacar o Decreto-Lei (DL) n.º 448/85, 25 de novembro de 1985, o primeiro instrumento legal em Portugal que define o quadro jurídico de gestão de resíduos. Viria a ser revogado 10 anos mais tarde pelo Decreto-Lei (DL) n.º 310/95, de 20 de novembro, que responsabilizava o detentor dos resíduos, de qualquer natureza ou origem, de promover a sua recolha, armazenamento, transporte e eliminação ou a sua utilização de modo a não colocar em risco a saúde humana ou o meio ambiente.

### **2.2.2 Definição de lamas de depuração**

Muitas têm sido as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) a entrar em funcionamento em território nacional, criadas com o objetivo de tratar águas residuais urbanas ou industriais, para que as mesmas possam ser lançadas em meio hídrico, sem impactes negativos no meio recetor. Do tratamento das águas residuais são produzidas lamas de depuração, em quantidades e com características muito variáveis, mediante a dimensão da ETAR e o tipo do efluente a tratar (IGAOT, 2008).

O Decreto-Lei (DL) n.º 276/2009, de 2 de outubro, define lamas de depuração ou lamas residuais como lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais domésticas, urbanas, de atividades agropecuárias, de fossas sépticas e de outras estações de tratamento de águas residuais de composição similar às águas residuais domésticas e urbanas.

Segundo Metcalf e Eddy (2003), as lamas resultantes das operações e processos de tratamento de águas residuais encontram-se sob a forma de um líquido ou de um líquido semissólido que contém normalmente uma percentagem de sólidos na ordem dos 0,25 a 12 %, valores estes que variam de acordo com o tipo de tratamento e de operações utilizados.

Em conformidade com a Decisão da Comissão n.º 2000/532/CEE, de 3 de maio, a Portaria n.º 209/2004, de 3 de março, que define a Lista Europeia de Resíduos (LER), confere às lamas de ETAR o carácter de resíduo pertencente ao grupo 19 08: “*Resíduos de estações de tratamento de águas residuais não anteriormente especificados*”, sendo atribuído o código 19 08 05: “*Lamas do tratamento de águas residuais urbanas*”.

Tratando-se de um resíduo, segundo a legislação nacional e europeia vigente, deve ser devidamente eliminada ou valorizada (DL n.º 448/85, de 25 de novembro, revogado pelo DL n.º 310/95, de 20 de novembro).

Neste sentido, as lamas de depuração produzidas em ETAR são processadas de modo a reduzir o seu teor de humidade, facilitando assim o seu manuseamento, transporte e armazenamento; o seu poder de fermentação, responsável pela produção de gases e odores desagradáveis; e a presença de agentes patogénicos prejudiciais à saúde humana (Comissão Europeia, 2001).

A valorização agrícola das lamas, é regulamentada pelo Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de outubro de 2009, que estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva nº 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho, de forma a evitar efeitos nocivos para o Homem, para a água, para os solos, para a vegetação e para os animais, promovendo a sua correta utilização. Este diploma legal dispõe sobre requisitos de qualidade para as lamas e para os solos, verificáveis através da conformidade das análises requeridas com os valores-limite estabelecidos, define um conjunto de restrições à utilização das lamas no solo, prevê procedimentos específicos de aplicação das lamas, bem como deveres de registo e informação por parte dos operadores de gestão de lamas de depuração.

A alteração mais significativa introduzida por referido diploma consubstancia-se na simplificação e agilização do procedimento de licenciamento da atividade, facilitando o respetivo exercício sem, no entanto, descuidar as exigências crescentes do ponto de vista da salvaguarda dos valores ambientais e da saúde humana. O licenciamento da utilização agrícola das lamas de depuração passa a ter por base o plano de gestão de lamas que, entre outros aspetos, identifica as explorações onde se prevê realizar as respetivas aplicações. O referido plano é complementado pela declaração anual do planeamento das operações, que define as parcelas a utilizar. A introdução destes instrumentos de planeamento e gestão, cujo cumprimento fica a cargo de um técnico responsável acreditado de acordo com um conjunto concreto de requisitos, obvia a necessidade de licenciamento por proveniência e destino das lamas (Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de outubro de 2009).

### **2.2.3 Origem e Tipologia de Lamas de ETAR**

O subcapítulo 2.1.3 fez referência às diferentes fases do tratamento da fase sólida de águas residuais, onde se incluem brevemente mencionadas as diferentes origens das lamas de depuração de ETAR.

Nas estações de tratamento convencionais, as lamas têm origem nos processos de tratamento primário, secundário e terciário (Comissão Europeia, 2001).

As lamas primárias resultam da sedimentação primária a que as águas residuais são sujeitas de forma a retirar os sólidos que sedimentam mais facilmente. A concentração de sólidos totais nas lamas primárias pode variar entre 2 e 7 %. Em comparação com as lamas biológicas e químicas, as lamas primárias são desidratadas mais facilmente pois estas são compostas por partículas discretas e detritos, produzindo assim uma lama com menor teor de humidade e melhores taxas de remoção de sólidos. No entanto, as lamas primárias são altamente putrescíveis e geram um odor desagradável se forem armazenadas sem tratamento (Turovskiy e Mathai, 2006).

As lamas secundárias, também conhecidas como lamas biológicas, são produzidas nos processos de tratamento biológico. Quando são provenientes dos processos de lamas ativadas e de leitos percoladores, normalmente contêm sólidos com concentração de 0,4 a 1,5 % e 1 a 4 % em matéria seca, respetivamente. São lamas mais difíceis de desidratar do que as lamas primárias devido ao floco biológico pouco denso inerente às lamas biológicas (Turovskiy e Mathai, 2006).

Algumas estações de tratamento misturam os dois tipos de lamas (primária e secundária) passando estas a ser designadas de lamas mistas, sendo inevitável a sua formação no decorrer do processo de tratamento de águas residuais (Metcalf e Eddy, 2003).

Os produtos químicos são amplamente utilizados no tratamento de águas residuais, principalmente no tratamento de águas residuais industriais, facilitando a precipitação de substâncias difíceis de remover (como azoto e fósforo) e, em alguns casos, melhorar a remoção de sólidos suspensos (na afinação do efluente tratado para posterior desinfecção). Deste processo formam-se lamas químicas, onde alguns produtos químicos podem conferir efeitos colaterais como por exemplo a redução do pH e da alcalinidade das águas residuais, exigindo assim a adição de produtos químicos alcalinos de modo a ajustar estes parâmetros (Turovskiy e Mathai, 2006).

As lamas contêm sólidos sedimentáveis como por exemplo matéria fecal, fibras, restos de comida, flocos biológicos, compostos químicos, orgânicos e inorgânicos, incluindo metais pesados e minerais (dependendo da sua fonte). Quando a lama é tratada, o produto resultante pode ser classificado de acordo com o tipo de tratamento como por exemplo aerobiamente digerido, anaerobiamente digerido, alcalino estabilizado, compostagem, e termicamente secas. A lama tratada pode ser primária, secundária (ou biológica), ou química, ou uma mistura de quaisquer dois ou três tipos de lamas (Turovskiy e Mathai, 2006).

Segundo Metcalf e Eddy (2003), as características variam de acordo com a origem dos sólidos e das lamas, da idade das lamas que foi considerada, e o tipo de processo a que foram sujeitas. Deste modo, as características específicas que as lamas de depuração apresentam irão influenciar na escolha do equipamento de espessamento e posterior desidratação a ser utilizado, bem como no seu destino final.

#### **2.2.4 Composição de Lamas de ETAR**

A composição e a qualidade das lamas de depuração vai variar de acordo com a composição das águas residuais de que resultam. Contudo, não é só este fator que influencia a constituição das lamas, por sua vez, a tecnologia de tratamento utilizada ao longo do processo de tratamento das mesmas afeta igualmente a sua composição.

As lamas de ETAR englobam na sua composição substâncias orgânicas e minerais de natureza diversa, estando presentes em maior ou menor quantidade, diferentes

microrganismos (alguns dos quais patogênicos). A sua composição química varia de ETAR para ETAR e, em cada ETAR, apresenta ainda uma série de variações sazonais. O quadro 2.6 enumera os principais parâmetros que fazem parte da composição típica de uma lama de depuração tratada e não tratada de uma ETAR.

**Quadro 2.6** – Composição típica de uma lama de depuração de ETAR (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Parâmetros	Lama Primária não tratada		Lama Primária digerida		Lamas Ativadas não tratadas
	Intervalo	Valor	Intervalo	Valor	Intervalo
Matéria Seca Total (MST, %)	5 - 9	6	2 - 5	4	0.8 - 1.2
Sólidos Voláteis (% MST)	60 - 80	65	30 - 60	40	59 - 88
Azoto (N, % MST)	1.5 - 4	2.5	1.6 - 3.0	3.0	2.4 - 5.0
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % MST)	0.8 - 2.8	1.6	1.5 - 4.0	2.5	2.8 - 11
Ferro	2.0 - 4.0	2.5	3.0 - 8.0	4.0	-
Potássio (K <sub>2</sub> O, % MST)	0 - 1	0.4	0 - 3.0	1.0	0.5 - 0.7
Proteínas (% MST)	20 - 30	25	15 - 20	18	32 - 41
pH	5.0 - 8.0	6.0	6.5 - 7.5	7.0	6.5 - 8.0

Os metais pesados também fazem parte da composição das lamas, sendo a sua concentração mais elevada quando se tratam de lamas de depuração provenientes de águas residuais de unidades industriais. O quadro 2.7 apresenta os metais pesados mais comuns nas lamas de depuração.

**Quadro 2.7** – Metais pesados mais comuns nas lamas de depuração de ETAR (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Metal pesado	Matéria seca (mg/kg)	
	Intervalo	Média
Arsénio	1.1 - 230	10
Cádmio	1 - 3410	10
Cloro	10 - 99000	500
Cobalto	11.3 - 2490	30
Cobre	84 - 17000	800
Chumbo	1000 - 154000	17000
Ferro	13 - 26000	500
Manganês	32 - 9870	260
Mercúrio	0.6 - 56	6
Molibdênio	0.1 - 214	4
Níquel	2 - 5300	80
Selénio	1.7 - 17.2	5
Estanho	2.6 - 329	14
Zinco	101 - 49000	1700

No processo de tratamento de águas residuais, a diversidade de microflora existente torna difícil de enumerar a população total, contudo, a decantação primária e o tratamento de lamas ativadas são processos muito eficientes na remoção de microrganismos a partir das águas residuais e transportá-los para a lama. A decantação primária pode reduzir os microrganismos de 30 a 70 %, seguido do tratamento de lamas ativadas onde a redução de microrganismos atinge entre 90 a 99 % (Turovskiy e Mathai, 2006). Segundo os mesmos autores, o tipo de bactérias presente nas lamas ativadas são principalmente as formadoras de flocos, no entanto as lamas também contêm microrganismos filamentosos, considerando que uma quantidade elevada de organismos filamentosos pode provocar um volume excessivo de lamas nos decantadores secundários. No quadro 2.8 apresentam-se os níveis típicos de bactérias patogénicas presentes nas lamas de depuração não tratadas.

**Quadro 2.8** – Níveis típicos de bactérias patogénicas nas lamas de depuração de ETAR não tratadas (Fonte: adaptado de Turovskiy e Mathai, 2006).

Bactéria Patogénica	Intervalo	Média
Coliforme Total	$1.1 \times 10^1 - 3.4 \times 10^9$	$6.4 \times 10^8$
Coliforme Fecal	n. d – $6.8 \times 10^8$	$9.5 \times 10^6$
Streptococci fecal	$1.4 \times 10^4 - 4.8 \times 10^8$	$2.1 \times 10^6$
<i>Salmonella sp.</i>	n. d – $1.7 \times 10^7$	$7.9 \times 10^2$
<i>Shingella sp.</i>	n.d	n.d
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$1.5 \times 10^1 - 9.4 \times 10^4$	$5.7 \times 10^3$
Vírus entéricos	$5.9 - 9.0 \times 10^3$	$3.6 \times 10^2$
Óvulos/quistos de parasita	n. d – $1.4 \times 10^3$	$1.3 \times 10^2$

A legislação em vigor é clara quanto à utilização de lamas tratadas, ou seja, só podem ser utilizadas na atividade agrícola lamas que foram estabilizadas de forma adequada (Artigo 9.º, DL n.º 276/2009, de 02 de outubro). Contudo ainda restringe a sua aplicação em culturas que apresentam um maior risco de contaminação para o Homem, como o exemplo culturas hortícolas de consumo cru (alínea d), art.º 12.º, do referido diploma).

## 2.2.5 Armazenamento, Transporte e Destino final de Lamas de ETAR

### a) Armazenamento

A otimização eficaz de uma lama de ETAR e a disposição do sistema requer um correto planeamento das operações ligando as etapas de tratamento com a de armazenamento, transporte e eliminação/uso. O sistema de armazenamento integrado na sequência do

processamento permite uma adaptação da velocidade e da capacidade no tratamento de águas residuais e lamas, enquanto o transporte é considerado como uma evidência de que os locais de eliminação, quase sempre, são afastados dos locais de produção (AEA, 1997).

O armazenamento de lamas de depuração passa por garantir uma homogeneização do caudal de tratamento, ao nível da quantidade e das características das lamas, assim como uma equalização entre a entrada contínua do caudal de lamas e o caudal descontínuo de saída das mesmas, tornando possível a sucessão dos diferentes processos de tratamento em diferentes horários e/ou com diferentes caudais. As lamas de depuração devem ser armazenadas em situações de carácter vantajoso como no caso de ETAR que funcionam 24 horas e o tratamento da fase sólida opera num determinado período do dia (por norma 8 a 16 horas), devendo esta situação ser evitada por períodos superiores a 24 horas uma vez que há o risco de a lama deteriorar o efluente e comprometer a possibilidade de se tornar séptica (Sousa, 2005).

Durante o armazenamento podem ocorrer diversos fenómenos, incluindo: i) o desenvolvimento de maus cheiros, devido a condições anaeróbias, que pode ser reduzido por meio da estabilização; ii) a variação no valor de fertilização, envolvendo a mineralização da matéria orgânica com perda de amoníaco; e iii) a higienização, como consequência da redução de agentes patogénicos. Os fatores de maior importância na conceção de instalações de armazenamento de lamas passam pela concentração de sólidos (que pode ser aumentada através de processos de separação sólido-líquido como a desidratação mecânica), a estabilidade (que pode ser ampliada através de processos de estabilização, sendo capaz de realizar alguma higienização), o conteúdo de nutrientes e matéria orgânica e, o teor de agentes patogénicos (que pode ser reduzido através de processos de desinfeção) (AEA, 1997).

Sousa (2005) indica que o armazenamento de lamas pode ocorrer ao nível do espessamento, digestão anaeróbia e aeróbia, compostagem e secagem natural. Em situações onde o armazenamento não é passível de ser feito de uma forma satisfatória ao longo do processo de tratamento, o mesmo deve ser realizado em equipamentos concebidos unicamente para esse efeito. Estas estruturas, exceto para períodos de armazenamento inferiores a três dias, poderão funcionar simultaneamente, ou seja, para tratamento (estabilização) e armazenamento.

A seleção do método de armazenamento que melhor se adequa vai depender essencialmente se as lamas estão no estado líquido ou desidratado, ou seja, depende do seu teor de matéria

seca e, o conhecimento da sua consistência física configura uma grande ajuda na definição do tipo de instalação a implementar (AEA, 1997).

Os principais equipamentos de armazenamento de lamas líquidas são tanques de armazenamento, lagoas facultativas, lagoas anaeróbias e lagoas arejadas. Relativamente às lamas desidratadas, podem distinguir-se em lamas secas, com uma quantidade de sólidos superior a 60 %, e em lamas com uma composição de sólidos entre 15 e 60 %. No primeiro caso, o armazenamento pode ser realizado através de técnicas usadas habitualmente nos materiais sólidos. Nas restantes, são utilizadas estruturas como lagoas de lamas desidratadas, estruturas confinadas e pilhas. Sendo que cada uma destas estruturas apresenta uma série de requisitos específicos no seu planeamento, conceção e dimensionamento (Sousa, 2005).

A figura 2.4 apresenta aquele que será o equipamento de armazenamento mais usual hoje em dia em ETAR, o silo de armazenamento de lamas desidratadas.



**Figura 2.4** – Silo de armazenamento de lamas de depuração de ETAR (Fonte: ETAR de Água Longa).

## **b) Transporte**

O transporte das lamas é uma operação inevitável no processo de gestão de lamas de depuração, podendo ser realizado em pequenos percursos (dentro da própria ETAR) ou em percursos maiores (envio para destino final ou tratamento em outra ETAR) (Sousa, 2005).

O transporte de lamas pode ser realizado através de bombagem, transporte por camião e/ou transporte por comboio. Normalmente, esta etapa é uma forte contribuição nos custos de obra, uma vez que são transportadas grandes quantidades de lamas a uma grande distância até

chegar ao local de disposição adequado. Contudo, estes custos podem ser reduzidos através do investimento em equipamentos de desidratação. O transporte por caminhão é o método mais utilizado uma vez que as vantagens mais significativas estão relacionadas com o baixo custo de investimento, um elevado grau de flexibilidade e o reencaminhamento e a alteração dos pontos de coleta também são organizados facilmente; sendo que as desvantagens prendem-se essencialmente com a possível fuga e emissão de cheiros e/ou poeiras (AEA, 1997).

### **c) Destino final**

A principal preocupação na gestão das lamas de depuração está em encontrar o destino final adequado para as lamas tratadas. Uma ETAR deve implementar um modo de deposição final de lamas ou está condenada ao insucesso (Sousa, 2005).

Berco (2013) refere que relativamente ao destino final de lamas de depuração tratadas adequadamente, atualmente são conhecidas e aplicadas as seguintes soluções, dispostas segundo o grau de hierarquia na gestão de resíduos (tendo em conta que cada um dos destinos mencionados apresenta as suas entradas, saídas e impactes ambientais associados):

- i) Valorização agrícola (aplicação direta/indireta e compostagem);
  - a. Solos agrícolas (recuperação/melhoramento)
  - b. Florestas (recuperação de solos e/ou reflorestação)
  - c. Estradas (recuperação/sementeira de taludes) outras áreas verdes
  - d. Recobrimento de aterros sanitários (recuperação paisagística)
  - e. Compostagem e/ou Co-compostagem com RSU
- ii) Construção civil (o fabrico de tijolos ou cerâmica incorpora 20 % de lama);
- iii) Combustão e co-combustão (valor calorífico para a produção de energia);
- iv) Incineração e/ou co-incineração/cimento (incorporação no cimento);
- v) Deposição em aterro sanitário.

Neste contexto, segundo a Agência Europeia do Ambiente (AEA) a valorização agrícola de lamas apresenta as vantagens e desvantagens expostas no quadro 2.9 (AEA, 1997).

**Quadro 2.9** – Vantagens e desvantagens da valorização agrícola de lamas de ETAR (Fonte: adaptado de AEA, 1997).

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utilização de nutrientes contidos nas lamas, como por exemplo fósforo e azoto;</li> <li>▪ Utilização de substâncias orgânicas contidas nas lamas para a melhoria da camada de húmus do solo (ou seja, melhoria dos solos);</li> <li>▪ Regulamentação conhecida sobre a sua aplicação;</li> <li>▪ Via de eliminação mais económica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Necessidade de grandes investimentos em instalações de armazenamento uma vez que as lamas só podem ser espalhados no solo, algumas vezes por ano;</li> <li>▪ Dependência dos agricultores individuais e administração de acordos;</li> <li>▪ Falta de conhecimento quanto ao conteúdo de micropoluentes orgânicos e organismos patogênicos nas lamas e o seu impacto sobre as cadeias alimentares;</li> <li>▪ Legislação do controle de conformidade minuciosa.</li> </ul>

### 2.2.6 Produção de Lamas em Portugal e na União Europeia

O Relatório do Estado do Abastecimento de Água e do Tratamento de Água (INSAAR, 2010), baseado no último inventário realizado com dados relativos a 2009, revela que houve um aumento da população servida pela rede de drenagem de água de cerca de 326000 habitantes de 2008 para 2009, fazendo corresponder, a nível nacional, a um total de população servida por drenagem de água de 8637000 habitantes, ou um nível de cobertura de 81 %. O relatório faz ainda referência ao tratamento de águas residuais, onde a estimativa de população atendida em 2009 foi de 7520000 habitantes, representando um índice de tratamento de 72 % para o Continente, 28 % para os Açores e 57 % para a Madeira.

O quadro 2.10 evidencia que o tratamento de águas residuais, a nível nacional, é realizado fundamentalmente em ETAR (97 %), confirmando-se que nas regiões Ribeiras do Algarve (RH 8) e Madeira (RH 10) as águas residuais são tratadas na sua totalidade em ETAR. (INSAAR, 2010). O mesmo relatório dá conta que o volume de águas residuais drenado no setor doméstico em 2009 era de 506048000 m<sup>3</sup>, fazendo corresponder a uma capitação doméstica de águas residuais de cerca de 169 L/hab.d. Concluiu também que, à semelhança de anos anteriores, o número de ETAR tem vindo a aumentar em detrimento das fossas sépticas (FSC). O quadro 2.11 apresenta os volumes de águas residuais tratadas consoante o tipo de instalação.

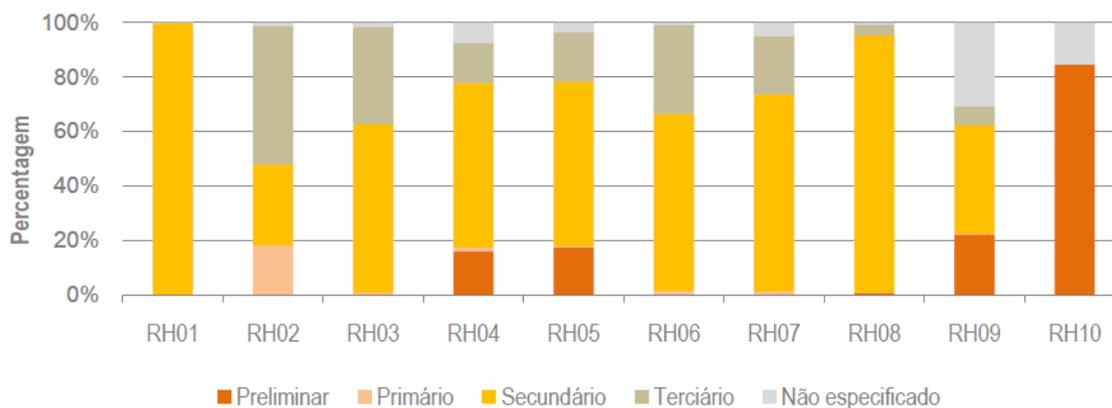
**Quadro 2.10** – População servida por tipo de instalação de tratamento de águas residuais (Fonte: INSAAR, 2010).

Regiões Hidrográficas	População servida (%)	
	ETAR	FSC
Continente	96	4
Minho e Lima (RH 1)	99	1
Cávado, Ave e Leça (RH 2)	98	2
Douro (RH)	93	7
Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH 4)	94	6
Tejo (RH 5)	98	2
Sado e Mira (RH 6)	94	6
Guadiana (RH 7)	95	5
Ribeiras do Algarve (RH 8)	100	0
Açores (RH 9)	63	37
Madeira (RH 10)	100	0
<b>Nacional</b>	<b>97</b>	<b>3</b>

**Quadro 2.11** – Volume de águas residuais tratadas por tipo de instalação (Fonte: INSAAR, 2010).

Regiões Hidrográficas	ETAR		FSC		Total
	x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	%	x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	%	x 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Continente	531670	98	12641	2	544312
Minho e Lima (RH 1)	11579	100	29	0,3	11608
Cávado, Ave e Leça (RH 2)	71909	100	198	0,3	72107
Douro (RH)	60747	94	3730	6	64477
Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste (RH 4)	108642	95	5438	5	114081
Tejo (RH 5)	208805	99	2033	1	210837
Sado e Mira (RH 6)	16559	97	569	3	17127
Guadiana (RH 7)	13058	96	613	4	13671
Ribeiras do Algarve (RH 8)	40371	100	32	0,1	40404
Açores (RH 9)	2996	64	1680	36	4676
Madeira (RH 10)	13627	100	0	0	13627
<b>Nacional</b>	<b>548294</b>	<b>-</b>	<b>1432</b>	<b>-</b>	<b>562615</b>

A figura 2.5 apresenta a distribuição dos diferentes tipos de tratamento a que as águas residuais podem estar sujeitas numa ETAR, segundo as regiões hidrográficas (RH) onde estão inseridas. Destaca-se o Cávado, Ave e Leça (RH 2), onde os tratamentos secundário e terciário são predominantes, sendo este último já representativo em cerca de 50 % das ETAR (INSAAR, 2010).



**Figura 2.5** – Tipo de tratamento em ETAR por Região Hidrográfica (Fonte: INSAAR, 2010).

Segundo os últimos dados disponíveis no Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento e Águas Residuais (INSAAR) para o ano de 2008, as ETAR em funcionamento produziram cerca de 1268035,504 toneladas de lamas de depuração, tendo em conta que no ano anterior (2007) a produção de lamas foi de 196087,67 toneladas. Este aumento de 1071947,834 toneladas de lamas produzidas (cerca de 547 %) veio comprovar o investimento que tem vindo a ser realizado em Portugal ao nível do melhoramento e otimização da recolha e tratamento de águas residuais, resultando num aumento significativo de produção de lamas de depuração. Daqui decorre o recente agravamento da problemática da gestão destas lamas.

O Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal de 2013 (RASARP 2013) foi redigido com o objetivo de avaliar a qualidade do serviço prestado aos utilizadores relativamente à qualidade do serviço por todo o universo de entidades gestoras de águas e resíduos para o ano de 2012, referenciada a 31 de dezembro. Este relatório apresenta um sistema de indicadores que avaliam a qualidade do serviço, onde a informação contida no indicador referente ao destino de lamas do tratamento pretende avaliar o destino final dado às lamas resultantes do tratamento das águas residuais enquanto potencial fonte de contaminação dos recursos naturais.

Os valores de referência para sistemas em alta e baixa definidos pelo relatório são: qualidade do serviço boa [100 %], qualidade do serviço mediana [95 %; 100 %] e qualidade do serviço insatisfatória [0 %; 95 %]. O quadro 2.12 apresenta os dados a nível nacional do serviço em alta e em baixa que constam do relatório.

**Quadro 2.12** – Avaliação do serviço em alta e em baixa ao nível continental (Fonte: adaptado de RASARP, 2013).

	Serviço em baixa (para 43 % de entidades)	Serviço em alta (para 100 % de entidades)
Lamas com destino adequado	100 076 ton	312 549 ton
Lamas iniciais armazenadas (início do ano)	956 ton	4 121 ton
Lamas produzidas no sistema	102 888 ton	313 565 ton
Lamas de outros sistemas	135 ton	0 ton
Lamas finais armazenadas (fim do ano)	3 287 ton	5 122 ton
<b>AR16a - Destino de lamas do tratamento</b>	<b>99 %</b>	<b>100 %</b>

A análise dos dados do quadro 2.12 indica que o destino de lamas do tratamento é mediano no serviço em baixa, indiciando o potencial de melhoria na implementação dos procedimentos necessários para o cumprimento da legislação em vigor relativamente à gestão das lamas, em articulação com os operadores de gestão de resíduos e com as entidades ambientais competentes. Este indicador pretende avaliar apenas o encaminhamento das lamas para operadores de gestão de resíduos e/ou agricultores com alvará/licença em vigor. Comparativamente, o destino de lamas do tratamento dado pelas entidades no serviço em alta é, na sua totalidade, adequado (RASARP, 2013).

Ao nível europeu os estudos biológicos que deram origem ao processo de tratamento de águas residuais por meio de lamas ativadas tiveram início em Inglaterra no ano de 1882. Com o crescimento das cidades, a partir do século XIX e início do século XX, outros países seguiram o exemplo inglês e começaram a preocupar-se com o tratamento das suas águas residuais, construindo assim as primeiras estações de tratamento de águas residuais (ETAR). São exemplo os Estados Unidos da América (EUA) onde, em 1887, foi construída a Estação Experimental Lawrence, em Massachusetts (Malta, 2002 citado por Sousa, 2005). Concomitantemente, com o aumento do número de ETAR a nível mundial, com tratamentos cada vez mais desenvolvidos, gerou-se um agravamento da problemática da produção de lamas e do destino final adequado.

Segundo o Relatório Final de 2008 sobre impactos ambientais, económicos e sociais da utilização de lamas de depuração no solo, a produção de lamas na União Europeia 27 (UE-27) está estimada em 10,13 milhões de toneladas (sólidos secos), sendo que, desse total, cerca de

40 % dessa quantidade presume-se ser aplicada na atividade agrícola (Comissão Europeia, 2008).

O quadro 2.13 apresenta os valores disponibilizados no referido relatório quanto à produção de lamas nos diferentes Estados-Membros bem como a estimativa de produção para o ano de 2020.

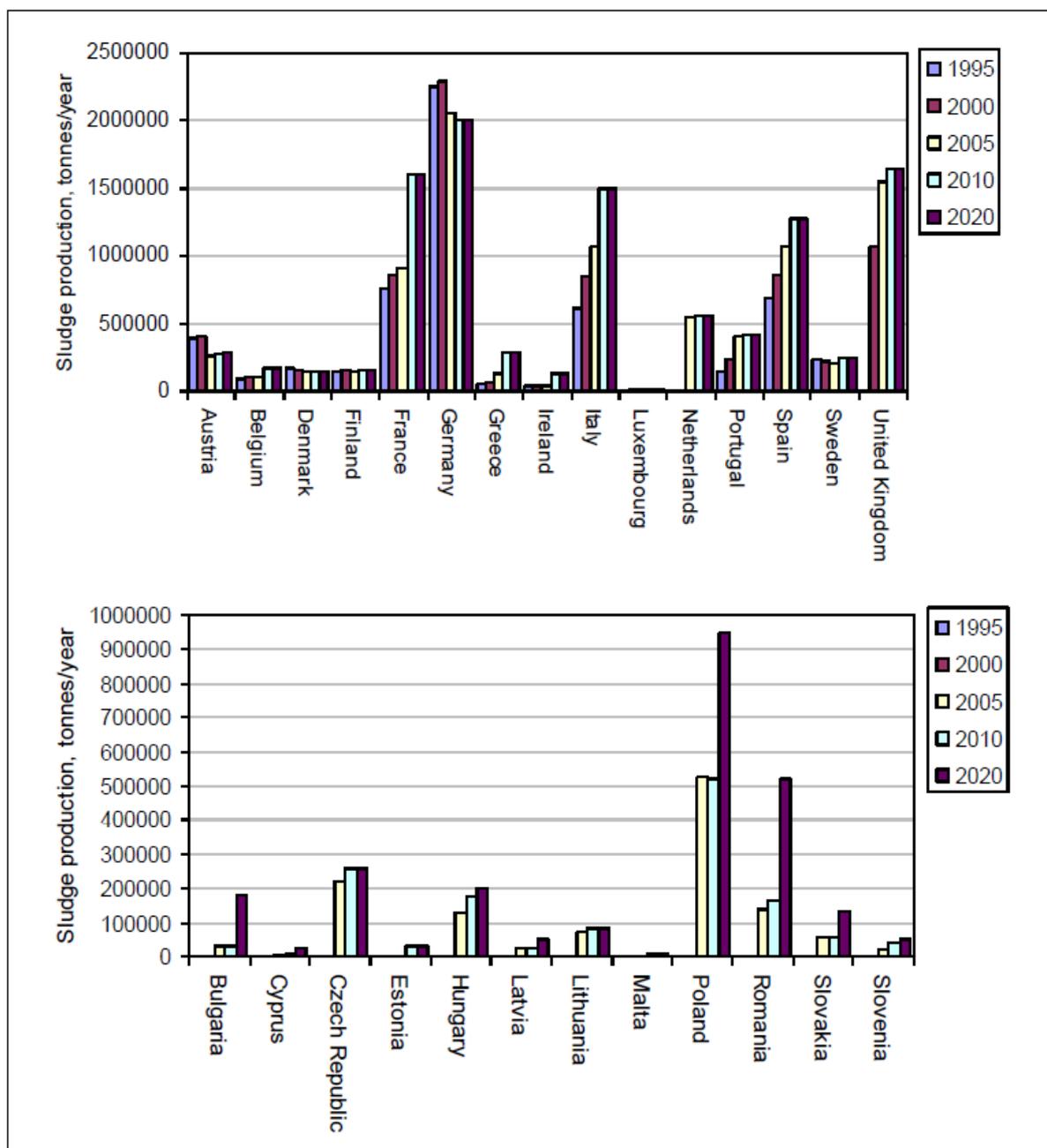
**Quadro 2.13** – Produção de lamas de depuração de ETAR na União Europeia - 27 (Fonte: adaptado de Comissão Europeia, 2008).

Estado-Membro	Ano	Produção de lamas (ton MS)	Estimativa 2020 (ton MS/ano)
Áustria	2006	252800	280000
Bélgica			170000
Região de Bruxelas	2006	2967	
Região de Flandres	2006	101913	
Região de Valónia	2007	31380	
Dinamarca	2002	140021	140000
Finlândia	2005	147000	155000
França	2007	1125000	1600000
Alemanha	2007	2056486	2000000
Grécia	2006	125977	260000
Irlanda	2003	42147	135000
Itália	2006	1070080	1500000
Luxemburgo	2005	8200	10000
Holanda	2003	550000	560000
Portugal	2006	401000	420000
Espanha	2006	1064972	1280000
Suécia	2006	210000	250000
Reino Unido	2006	1544919	1640000
<b>Subtotal UE-15</b>		<b>8874862</b>	<b>10400000</b>
Bulgária	2006	29987	180000
Chipre	2006	7586	16000
República Checa	2007	231000	264000
Estónia	2005	26800	33000
Hungria	2006	128380	200000
Letónia	2006	23942	50000
Lituânia	2007	76450	80000
Malta		n.d	10000
Polónia	2006	523674	950000
Romênia	2006	137145	520000
Eslováquia	2006	54780	135000
Eslovénia	2007	21139	50000
<b>Subtotal UE-12</b>		<b>1260883</b>	<b>2484000</b>
<b>TOTAL</b>		<b>10135745</b>	<b>12884000</b>

A UE-15 tem um nível muito mais elevado de produção de lamas devido não só à população mais elevada como às ligações domiciliárias para o tratamento de águas residuais urbanas. Contudo, em ambos os grupos a variação entre os países individuais é bastante significativa.

Esta estimativa de produção de lamas de depuração prevê um aumento de aproximadamente 20 % para UE-15 e de 100 % para a UE-12, até ao ano de 2020 (Comissão Europeia, 2008).

A figura 2.6 apresenta o histórico e as tendências futuras para a produção de lamas na UE-15 e UE-12.



**Figura 2.6** – Histórico e tendências futuras da produção de lamas na União Europeia (Fonte: Comissão Europeia, 2008).

### 3. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A designação de Análise de Ciclo de Vida (ACV), em inglês “Life Cycle Assessment” (LCA), foi utilizada pela primeira vez nos Estados Unidos da América (EUA), no ano de 1970, e adotava o nome de “Resource and Environmental Profile Analysis” (REPA) que em português significa Análise do Perfil Ambiental e Recursos (APAR), (Hunt e Franklin, 1996 citados por Ferreira, 2004).

A metodologia Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma compilação e avaliação de entradas, saídas e potenciais impactes ambientais de um sistema ou produto ao longo do seu ciclo de vida. A designação “ciclo de vida” refere-se às atividades no decorrer da vida de um determinado produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo a aquisição de matéria-prima necessária à fabricação desse produto (Ferreira, 2004).

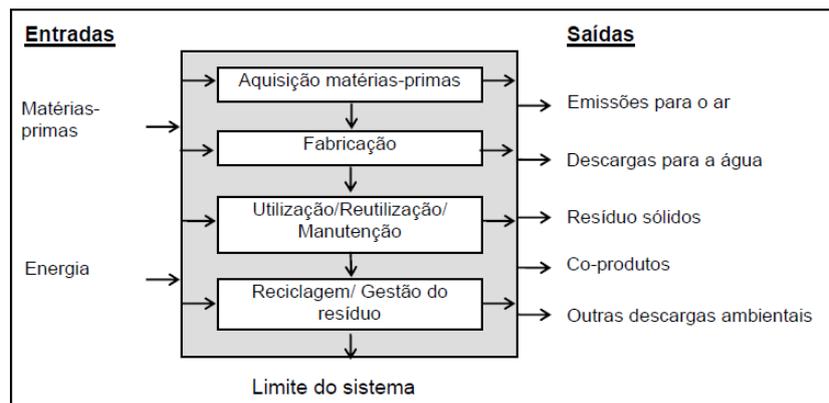
De facto, a realização de uma ACV pode ser encarada como uma aceitação voluntária por parte dos fabricantes na responsabilidade dos impactes ambientais associados à utilização dos materiais durante todo o ciclo de vida de um produto, desde a sua conceção até ao destino final.

O estudo conduzido pelo “Midwest Research Institute” (MRI) para a Campanha Coca Cola, em 1969, foi um dos primeiros a quantificar as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas. Este estudo nunca viria a ser publicado devido ao carácter confidencial do seu conteúdo. Contudo, a companhia usava-o como uma entrada na tomada de decisões sobre embalagens, pois uma das conclusões mais relevantes foi a demonstração de que as garrafas de plástico não eram ambientalmente menos favoráveis que as de vidro. De facto, a Análise do Perfil Ambiental e Recursos (APAR) provou que o que outrora foi considerado acerca dos plásticos serem um produto indesejável ao meio ambiente, se baseou em interpretações incorretas da realidade (Hunt e Franklin, 1996 citados por Ferreira, 2004).

Os dados de uma ACV integrados com outra informação, como por exemplo dados relativos a custos, podem auxiliar os responsáveis numa tomada de decisão na seleção de produtos ou processos que resultem num menor impacte ambiental. Contudo, a elaboração desta metodologia requer muitos recursos, prolongando-se no tempo, devendo por isso ser feito um balanço dos recursos financeiros com os benefícios previsíveis. A ACV não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor e, por essa razão a informação

desenvolvida deve ser usada como um contributo num processo de tomada de decisão tendo em conta outros fatores (Ferreira, 2004).

A figura 3.1 ilustra os estágios possíveis a ter em conta numa Análise de Ciclo de Vida (ACV) e as entradas/saídas que podem ser consideradas (USEPA, 2001 citado por Ferreira, 2004).

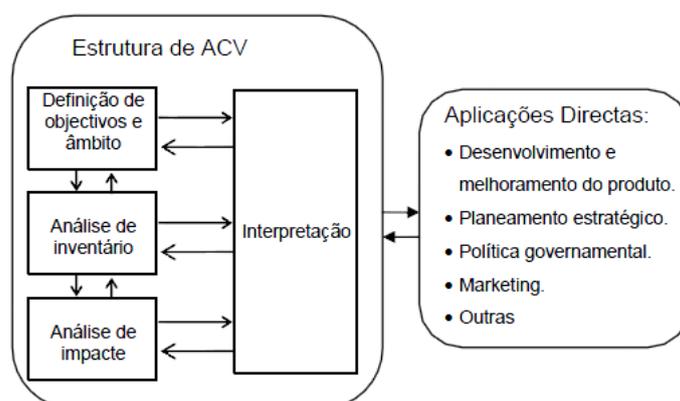


**Figura 3.1** – Estágios de uma análise de ciclo de vida de um produto (Fonte: USEPA, 2001 citado por Ferreira, 2004).

O Comité Técnico TC 207 da ISO, criado em 1993 com o objetivo de desenvolver e atualizar a série de normas ISO 14 000, formou o Subcomité 5 (SC5), designado Ciclo de Vida do Produto, publicando as normas ISO 14 040 a 14 049. A norma ISO 14 040 – “Análise do Ciclo de Vida – Princípios e Procedimentos Gerais”, publicada em 1997, especifica as ferramentas metodológicas para a aplicação dos conceitos de ACV. As duas primeiras fases da ACV são abordadas pela norma ISO 14 041 – “Inventário do Ciclo de Vida” e pela norma ISO 14 042 – “Avaliação dos Impactes no Ciclo de Vida”, publicadas em 1998 e 1999, respetivamente. A norma ISO 14 041 estabelece requisitos e recomendações para a fase de inventário, como, por exemplo, o modo como efetuar fluxos entre diferentes funções, como lidar com coprodutos e com vários tipos de reciclagem. A norma ISO 14 042 examina o inventário de entradas e saídas de materiais e de energia para melhor identificar sua significância ambiental. Por fim, a norma ISO 14 043, publicada em 1999, relativa à interpretação do ciclo de vida, analisa a relação que existe entre a ACV e outras técnicas de gestão ambiental (Azevedo, 2009).

Segundo a norma ISO 14 040:1997 a metodologia de ACV é descrita como um sistema faseado desenvolvido em quatro componentes, como indica a figura 3.2. Este instrumento de

gestão ambiental que permite às empresas/organizações uma melhor compreensão das incidências ambientais dos materiais, processos e produtos, pode conduzir ao desenvolvimento de novos produtos e à identificação de áreas de investigação e desenvolvimento.



**Figura 3.2** – Fases de uma análise de ciclo de vida de um produto (Fonte: ISO 14040: 1997).

Segundo a informação disponibilizada no sítio da internet da Associação Portuguesa do Ambiente (APA), esta norma foi alvo de algumas edições e atualizações nos anos de 2005 e 2006, e mais recentemente em junho de 2008. Não estando disponível de forma gratuita ou possível a sua consulta numa versão mais recente, o presente estudo considerou os conteúdos e definições inseridos na sua primeira versão NP ISO 14 040:1997.

Segundo esta norma, a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) possui inúmeras aplicações, desde o desenvolvimento de produtos, à rotulagem ecológica e regulação inclusive a definição de cenários de prioridade e de política ambiental, podendo ser caracterizada da seguinte forma:

- i) Definição do objetivo e âmbito: descreve e define o produto, processo ou atividade, estabelecendo um contexto no qual a avaliação deve ser realizada e identifica os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação;
- ii) Análise de Inventário: identifica e quantifica as entradas e saídas relevantes como a energia, a água e materiais utilizados e descargas ambientais (como por exemplo emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos);

iii) Análise de Impacte: analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário;

iv) Interpretação: avalia os resultados da análise de inventário e classifica os impactes de modo a seleccionar o melhor produto, processo ou serviço com uma exposição clara das incertezas e suposições usadas para gerar os resultados.

A consciencialização da importância da proteção do meio ambiente e dos possíveis impactos associados a um produto fabricado e consumido, tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos de melhoria na redução desses mesmos impactos. Sendo assim, não existe um método único para a realização de estudos de Análise do Ciclo de Vida. As organizações devem ter flexibilidade para implementar na prática uma ACV conforme estabelecido na norma ISO 14 040:1997, tendo por base a sua aplicação específica e as necessidades do usuário (NP ISO 14 040:1997).

## **4. METODOLOGIA**

Na concretização da análise proposta no presente trabalho, foi considerada a linha de tratamento da fase sólida de águas residuais urbanas, mais concretamente o processo de espessamento de lamas de depuração de águas residuais.

A finalidade do presente estudo é a análise comparativa de dois processos de espessamento de lamas, realizados por equipamentos distintos, a mesa de espessamento, utilizada na ETAR de Esposende, e o tambor rotativo, utilizado na ETAR de Água Longa e na ETAR de Penices, tendo por base uma análise comparativa dos processos de espessamento de lamas considerando critérios ambientais, operacionais e económicos a caracterizar de acordo com um sistema de indicadores a definir.

A metodologia adotada teve por base a abordagem da Análise do Ciclo de Vida (ACV) (norma ISO 14 040:1997), partindo-se da definição do objetivo e âmbito do estudo, com a identificação e caracterização da unidade funcional (etapa) do processo a considerar (o espessamento) e o sistema do produto, a análise de inventário dos sistemas do produto com base nas suas entradas e saídas, a identificação e caracterização de categorias de impacto, para as quais se definiram indicadores ambientais. A mesma abordagem foi adotada para a definição e caracterização dos indicadores de desempenho operacional e económico.

### **4.1 Definição do objetivo e âmbito**

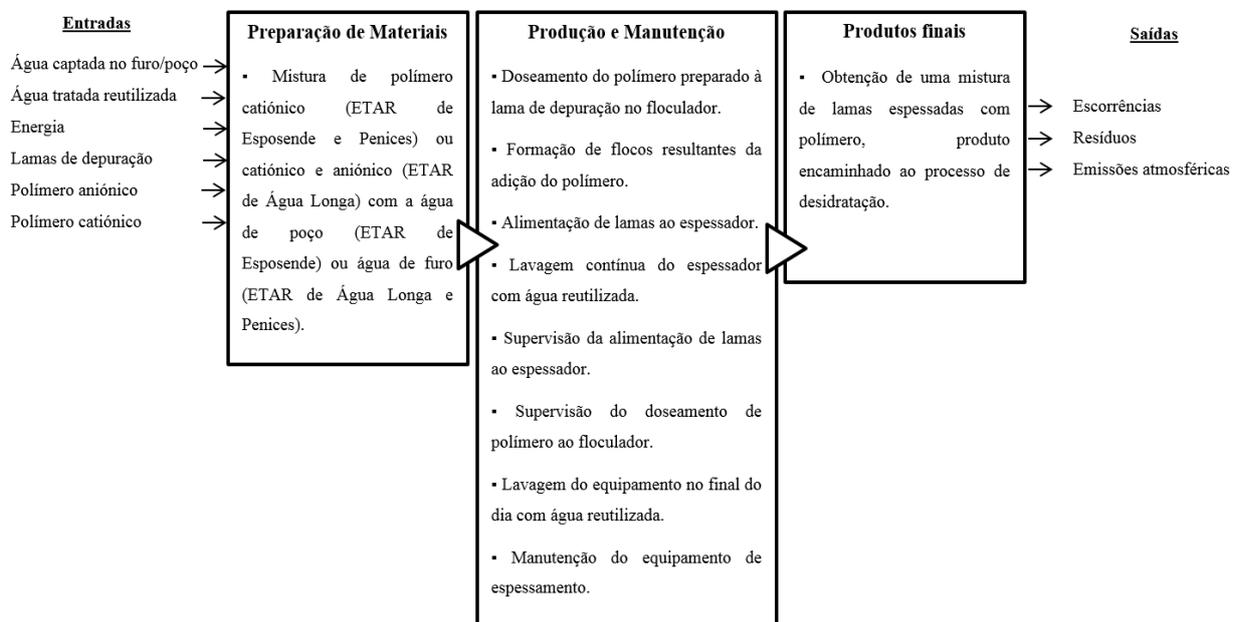
A definição do âmbito, limites e nível de detalhe de uma ACV vai depender do assunto e do uso pretendido do estudo. A sua amplitude e a profundidade podem variar consideravelmente, dependendo do objetivo da ACV em particular (norma ISO 14 040:1997).

O presente estudo tem por objetivo e âmbito identificar, caracterizar e analisar as entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um processo unitário específico do tratamento das lamas de depuração, o espessamento. Para o efeito foram selecionadas três ETAR urbanas como casos de estudo, as ETAR de Esposende, Água Longa e Penices, com base nos equipamentos e processo de espessamento utilizados.

Neste caso concreto, e segundo a norma ISO 14 040:1997, entende-se por “entrada” como todos os materiais (matérias-primas e produtos) ou energia que entram no processo de espessamento de lamas e “saída” como todos os materiais (matérias-primas, produtos

intermediários, produtos, emissões e resíduos) ou energia que deixam o processo de espessamento de lamas.

De acordo com o âmbito do estudo, os estágios considerados nesta análise, identificados no esquema apresentado na figura 4.1, foram a preparação de materiais envolvidos em cada um dos processos de espessamento das lamas de depuração, a etapa de produção que diz respeito ao espessamento em tambor rotativo ou mesa de espessamento, incluindo a respetiva manutenção, e os produtos obtidos no que respeita à etapa de tratamento seguinte (desidratação), e a gestão de resíduos e reciclagem de escorrências. Estes estágios constituem o limite do sistema a considerar, cujas entradas e saídas são ainda representadas na figura 4.1.



**Figura 4.1** – Estágios considerados na abordagem metodológica adotada.

A descrição do processo consta do capítulo 4.2, onde se caracterizam os casos de estudo, com a descrição do processo de tratamento de cada uma das ETAR, incluindo as operações unitárias dos equipamentos utilizados e respetivos fluxos, que definem os limites do sistema, assim como a identificação das respetivas entradas e saídas, dando resposta à identificação do sistema do produto prevista na metodologia de ACV.

O espessamento de lamas constituiu uma primeira parte do tratamento da fase sólida, precedendo o processo de desidratação. Assim estes dois processos estão interligados, obtendo-se a maior eficiência global, avaliada ao nível da maior remoção de água, com a

otimização de ambos. De modo a tornar possível estabelecer uma relação entre a eficiência de um processo no outro e agregar os custos associados à manutenção do processo e eliminação dos resíduos houve necessidade de realizar uma analogia de cariz anual (255 dias úteis) para cada um dos equipamentos complementando assim o estudo proposto com as despesas de manutenção e transporte e eliminação de lamas.

Na definição do sistema do produto de cada um dos casos, o grupo de bombagem de lamas à entrada do equipamento de espessamento não foi considerado por razões de operação, isto é, a entrada de lamas de depuração deve ser sempre garantida se o processo de espessamento está em funcionamento e, entre as duas tecnologias de espessamento há uma diferença de caudais à entrada do equipamento. Enquanto a ETAR de Esposende possui um tanque de armazenamento de lamas espessadas de grandes dimensões que permite que o equipamento receba um caudal contínuo e elevado de lamas a espessar, no caso das ETAR de Água Longa e Penices, o tambor rotativo recebe um caudal de lamas a espessar regulado segundo a capacidade da tremonha que acumula as lamas espessadas e as encaminha ao equipamento de desidratação.

Estas condições de operação também estão na base da definição de um cenário idêntico para as três ETAR em estudo facilitando a comparação e análise dos sistemas de espessamento, ou seja, foi considerado que no decorrer de um dia de trabalho, todos os equipamentos abrangentes ao processo (sistemas de bombagem, unidades de preparação de polímero e tecnologias de espessamento) permaneceram em atividade ao longo de 7 h/d contínuas sem qualquer interrupção, cinco dias por semana.

Na realidade não se verifica o funcionamento contínuo da linha de tratamento da fase sólida em nenhuma das ETAR pelo período estabelecido no cenário considerado. Operacionalmente, este cenário não é positivo visto que a preservação dos equipamentos estaria comprometida, uma vez que necessitaria de uma manutenção muito superior à realizada. A definição deste cenário deve-se à necessidade de assegurar a igualdade na comparação do sistema de espessamento nos três casos estudados. Assim, os dados considerados no estudo comparativo resultam de estimativas, transpondo os dados reais do tempo de funcionamento dos equipamentos para 7 h, representando um defeito por excesso nas entradas e saídas do sistema.

## **4.2 Caracterização dos casos de estudo**

### **4.2.1 ETAR de Esposende**

O subsistema de saneamento de Esposende serve as freguesias de Esposende, Fão, Gandra e Palmeira de Faro, bem como parte das freguesias de Fão e Marinhas. Situada na freguesia de Gandra na margem direita do rio Cávado, praticamente na zona do estuário, este subsistema de saneamento é composto pela ETAR de Esposende, por uma rede interceptores gravíticos com uma extensão de 13,7 km com diâmetros entre os 200 e 315 mm e por sistemas elevatórios com 10 Estações Elevatórias (E.E.): E.E. da Rotunda Gandra, E.E. da Avenida Marginal, E.E. de Lagoa, E.E. dos Lírio, E.E. do Cemitério, E.E. do Estaleiro, E.E. de Cepães Norte, E.E. da Travessa da Praia, E.E. da Redonda Norte e E.E. da Redonda Sul; e 4,4 km de condutas elevatórias com diâmetros de 200 mm.

A ETAR de Esposende está a ser alvo de uma ampliação passando a servir também as populações adstritas atualmente às ETAR de Curvos e de Fão que serão desativadas. Foi a primeira ETAR a ser construída no concelho de Esposende, tendo iniciado o seu funcionamento em Abril de 1991. Com o crescente aumento da população do concelho, não só a fração residente como a flutuante, tornou-se necessário ampliar a capacidade desta estação, pelo que no ano 2000 uma nova linha de tratamento entrou em funcionamento dotando a infraestrutura com a capacidade para tratar um caudal médio de 2660 m<sup>3</sup>/d, correspondente a cerca de 17600 habitantes. Esta estação recebe unicamente água residual de origem doméstica e realiza o seu tratamento através de um processo de lamas ativadas com arejamento prolongado que permite responder às exigências de qualidade definidas para o meio recetor.

A ETAR de Esposende é uma infraestrutura cedida à exploração à Águas do Noroeste, S.A. e, por esta mesma razão, a recolha de informação relativa aos dados base do projeto com as características médias do afluente que chega ETAR foi dificultada.

O quadro 4.1 apresenta os parâmetros disponibilizados para a caracterização da corrente afluente à ETAR de Esposende (mais Apúlia) e, uma vez que esta infraestrutura está em remodelação, o projeto está em atualização, criando a necessidade de estimar os valores para o ano de 2014 com base no projeto anterior.

A ETAR de Esposende por estar situada numa zona balnear tem associada uma população residente (PR) e uma população flutuante (PF) característica da época balnear (considerada

entre o mês de julho e agosto) que, naturalmente fazem variar o caudal médio e a carga orgânica típica do afluente que chega à ETAR para tratamento. O caudal médio associado à população flutuante resulta da diferença do caudal médio registado e o caudal médio da população residente.

As equações 4.1 a 4.4 foram utilizadas no cálculo do caudal médio da população flutuante, da população equivalente, do fator e ponta e do caudal de ponta.

$$Q_{PF} \left( \frac{m^3}{d} \right) = Q \left( \frac{m^3}{d} \right) - Q_{PR} \left( \frac{m^3}{d} \right) \quad (\text{equação 4.1})$$

$$Pe(\text{hab. eq}) = \frac{CBO_5 \left( \frac{mg}{L} \right) \times Q \left( \frac{m^3}{d} \right)}{0.060 \times 10^3} \quad (\text{equação 4.2})$$

$$f_p = 1.5 + \frac{60}{\sqrt{Pop}} \quad (\text{equação 4.3})$$

$$Q_p \left( \frac{m^3}{h} \right) = Q \left( \frac{m^3}{d} \right) \times f_p \quad (\text{equação 4.4})$$

Onde:

$Q_{PF}$  – Caudal médio da população flutuante nos meses de julho e agosto ( $m^3/d$ )

$Q$  – Caudal médio registado ( $m^3/d$ )

$Q_{PR}$  – Caudal médio da população residente nos restantes meses do ano ( $m^3/d$ )

$Pe$  – População equivalente (hab.eq)

$CBO_5$  – Carência Bioquímica de Oxigénio ( $mg O_2/L$ )

$f_p$  – Fator de ponta

$Pop$  – População (hab.)

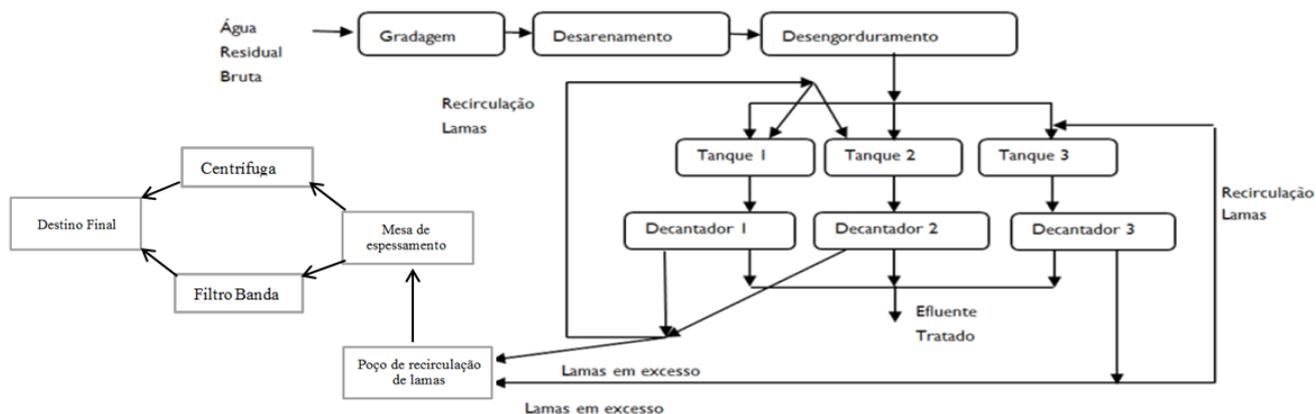
$Q_p$  – Caudal de ponta ( $m^3/h$ )

**Quadro 4.1** – Dados base de projeto da ETAR de Esposende (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

População	Origem	Unidade	Ano Zero		Ano 2014	
	Residente (PR)	hab.eq.	12867		13084	
	Flutuante (PF)		2967		12022	
	<b>População total</b>	<b>hab.eq</b>	<b>15834</b>		<b>25106</b>	
Caudais	Tipo	Unidade	Ano Zero		Ano 2014	
			PR	PF	PR	PF
	Caudal médio	m <sup>3</sup> /d	2000	660	3492	-716
Caudal de ponta	m <sup>3</sup> /h	250	96	294	-61	
Cargas Afluentes	Parâmetro	Unidade	Ano Zero		Ano 2014	
			PR	PF	PR	PF
	CBO <sub>5</sub>	kg/d	772	178	785	721
SST	kg/d	858	198	1018	389	
Lamas	Parâmetro	Unidade	Ano Zero		Ano 2014	
	Caudal de lamas em excesso a espessar	m <sup>3</sup> /dia	Sem dados		Sem dados	
	Quantidade de lamas em excesso a espessar	kg SST/ d	Sem dados		Sem dados	
	Carga de sólidos máxima	kg SST/ m <sup>3</sup> /d	Sem dados		Sem dados	
Concentração de sólidos à saída	% de MS	Sem dados		Sem dados		

O quadro 4.1 indica um valor negativo para o caudal médio associado à população flutuante e para o caudal de ponta. Tal pode justificar-se possivelmente devido às condições climáticas verificadas no início do ano 2014. Os meses da chamada “época baixa” (janeiro, fevereiro, março, abril, maio e junho) de 2014 foram extremamente chuvosos, tornando o caudal afluyente à ETAR muito superior ao normalmente registado no mesmo período em outros anos.

A figura 4.2 apresenta o diagrama simplificado do processo de tratamento da ETAR de Esposende.



**Figura 4.2** – Diagrama do processo de tratamento da ETAR de Esposende (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por um pré-tratamento das águas residuais (tamização, desarenamento/desengorduramento), tratamento biológico e decantação secundária.

O caudal afluente dos quatro pontos é recebido e encaminhado aos dois tamizadores automáticos. Os sólidos mais grosseiros são retirados e dá-se a formação do primeiro subproduto do tratamento de águas residuais, os gradados, que são armazenados num contentor para posterior transporte ao aterro sanitário.

A água residual segue para um desarenador onde são retiradas as areias, e de seguida para um desengordurador, onde é extraída a gordura. As areias removidas são encaminhadas para um classificador de areias onde por decantação as escorrências são separadas das areias, constituindo assim o segundo subproduto do tratamento de águas residuais e são, à semelhança dos gradados, transportadas e armazenadas num contentor para encaminhamento até ao aterro sanitário. As gorduras separadas na etapa de desengorduramento são posteriormente incorporadas nas lamas em excesso que vão para o tratamento da fase sólida do tratamento de águas residuais, nomeadamente a desidratação.

Após o pré-tratamento, o efluente segue por ação da gravidade até ao tratamento biológico que é realizado em três tanques de arejamento retangulares. Dois dos tanques promovem o arejamento através de rotores enquanto um terceiro apresenta arejamento por difusores ou compressores. Os tanques de arejamento são caracterizados por uma operação contínua, onde a sua função é continuamente alternada entre os processos de desnitrificação/nitrificação, ou

seja, o efluente inicia o seu processo biológico com a desnitrificação (ausência de oxigénio por paragem dos arejadores), passando para o processo de nitrificação (presença de oxigénio por ação dos arejadores).

Daqui a água residual entra, por gravidade, nos três decantadores secundários onde através do processo de decantação é separada a fase líquida da sólida. Parte das lamas vai para a linha de tratamento da fase sólida e outra parte para o processo de recirculação de lamas, uma vez que todos os tanques de arejamento apresentam um canal de recirculação que garante a concentração constante de biomassa necessária à remoção de matéria orgânica.

A água residual que sai dos decantadores é encaminhada para um circuito/gincana que ainda promove a remoção de alguns sólidos que ainda possam existir antes da descarga.

O meio recetor que recebe a descarga final do efluente tratado é o rio Cávado. Parte da água residual tratada é reutilizada como água de serviço na ETAR, nomeadamente em operações de lavagem de equipamento (e.g espessadores).

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por um processo de espessamento mecânico através de uma mesa de espessamento, e um processo de desidratação constituído por um filtro banda e uma centrífuga. A mesa de espessamento (Figura 4.3), cujo modelo é *OMEGA 25 SD*, não foi dimensionada para funcionar num determinado número de dias por semana ou por um determinado período de tempo (horas). Mediante a quantidade de lamas produzidas, o sistema de espessamento é ativo sempre que necessário.

Ao longo de todo o processo de tratamento de lamas de depuração só é realizada uma injeção de polímero (polieletrólito catiónico) efetuado imediatamente antes da mesa de espessamento. O polímero utilizado é o Rifloc 9175 cuja preparação é efetuada numa unidade de preparação própria, designada Polipack, idêntica à representada na figura 4.4. A unidade de preparação de polímero instalada na ETAR de Esposende apresenta algum desgaste resultante do tempo de vida do equipamento e da sua utilização.



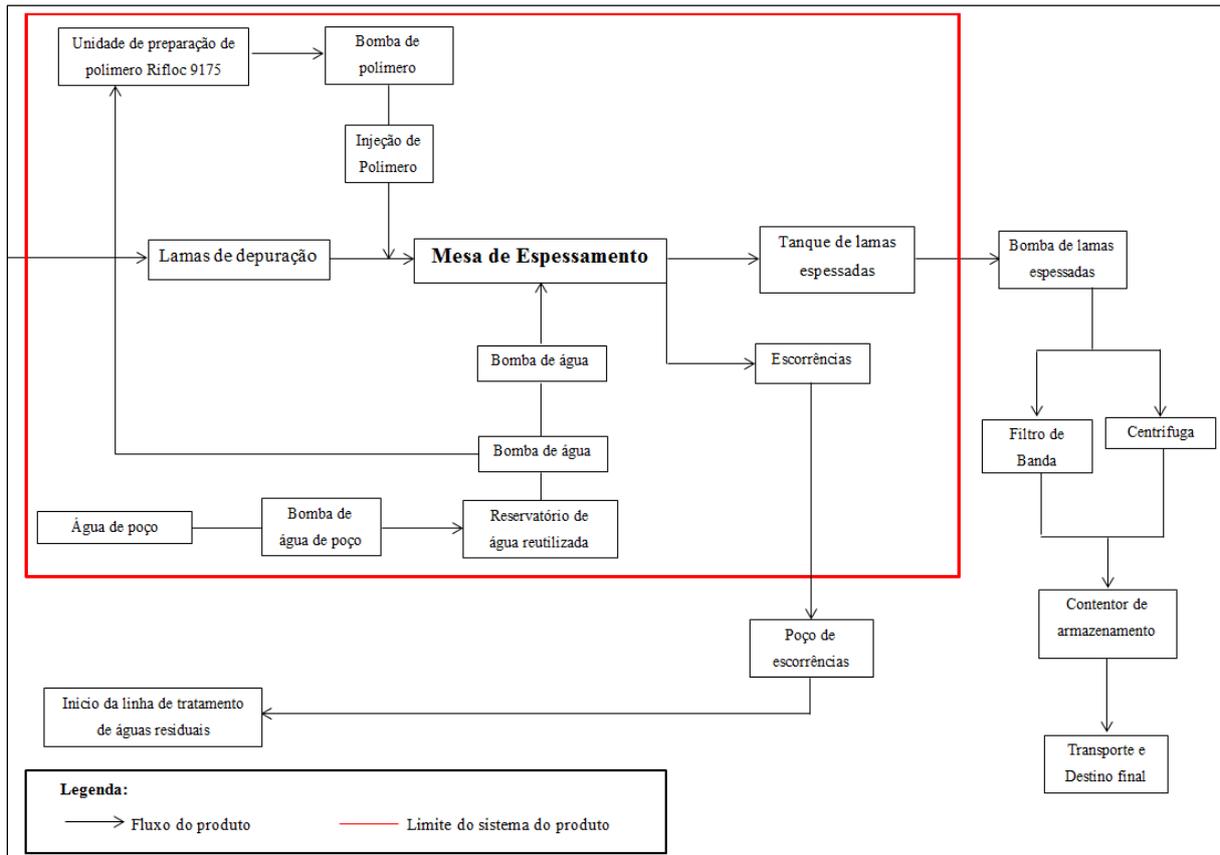
**Figura 4.3** – Mesa de espessamento *OMEGA 25 SD* instalada na ETAR de Esposende.



**Figura 4.4** – Modelo da unidade de preparação de polímero instalada na ETAR de Esposende.

A metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) pressupõe a definição de um sistema do produto, ou seja, uma recolha de material e processos unitários conectados entre si por fluxos que orientam o sistema.

Os critérios utilizados para definir o sistema do produto e os seus limites foram identificados segundo o âmbito do presente estudo. A figura 4.5 apresenta o diagrama do sistema do produto para a ETAR de Esposende com o respetivo limite e fluxos do sistema.



**Figura 4.5** – Sistema do produto definido para a ETAR de Esposende.

#### 4.2.2 ETAR de Água Longa

O subsistema de saneamento de Água Longa fica localizado no concelho de Santo Tirso, servindo um total de oito freguesias: Agrela, Água Longa, Carreira, Guimarei, Lamelas, Monte Córdova, Refojos de Riba de Ave e Reguenga. Este subsistema de saneamento é composto pela ETAR de Água Longa e por uma rede de interceptores gravíticos que se desenvolvem na margem do rio Leça com uma extensão de 10,8 km com diâmetros entre os 200 e 300 mm.

Futuramente farão parte deste subsistema pequenos subsistemas de saneamento compostos por ETAR compactas ainda em exploração e que serão desativadas logo que esteja construído o interceptor do Leça (Subsistema de Reguenga, Subsistema de Monte Córdova e Subsistema de Carreira).

Esta infraestrutura entrou em funcionamento a Maio de 2009 e localiza-se na freguesia de Água Longa, no concelho de Santo Tirso, junto às instalações da unidade industrial da Gierling Velpor e ao rio Leça, onde é descarregado o efluente tratado.

Além da componente doméstica, a ETAR de Água Longa recebe efluente industrial que representa, no ano horizonte de projeto, cerca de 18 % do caudal afluyente e cerca de 24 % da carga orgânica. Esta ETAR irá receber futuramente as águas residuais provenientes de um empreendimento turístico – Nortegolfe.

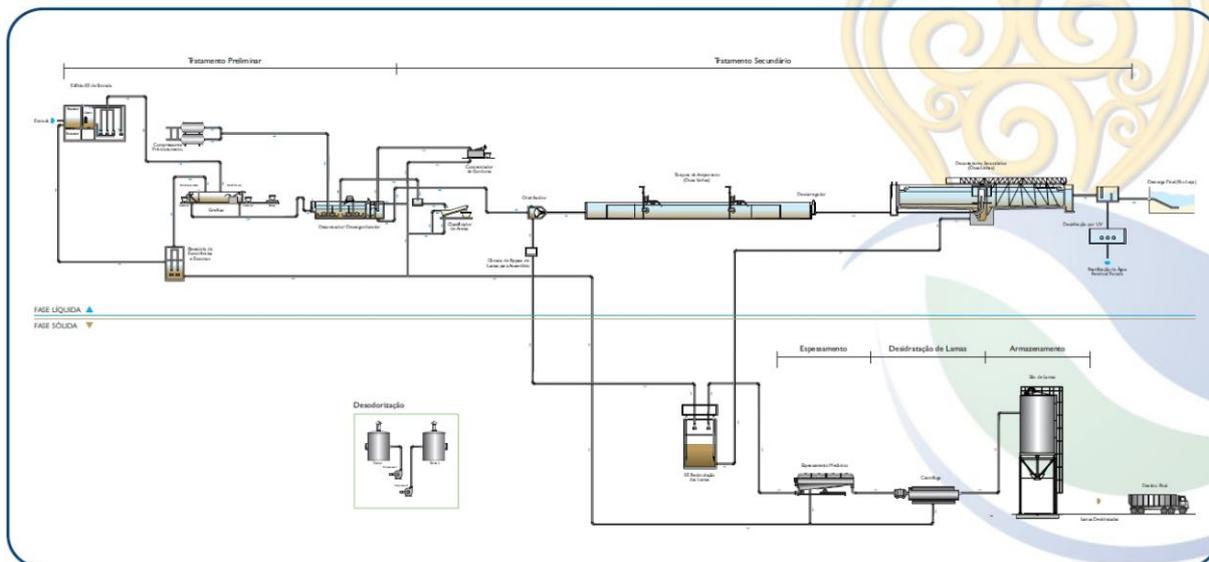
As características médias do afluyente à ETAR, previstas em projeto são as apresentadas no quadro 4.2.

Na figura 4.6 é apresentado o esquema de tratamento projetado para a ETAR de Água Longa.

**Quadro 4.2** – Dados base de projeto da ETAR de Água Longa (Fonte: Águas do Ave, 2007).

	Unidade	Ano zero	Ano horizonte de projeto (2033)
<b>População</b>			
População		3968	13959
Hab. eq. Industriais	hab.	360	360
Industriais adicionais	hab.eq	4917	4917
NORTEGOLF		3008	3008
<b>População total</b>	<b>hab.eq</b>	<b>12253</b>	<b>22244</b>
<b>Caudais</b>			
Caudal médio diário	m <sup>3</sup> /d	1972	3550
Caudal de ponta (doméstico)	m <sup>3</sup> /h	49	165
Caudal de ponta (industrial, incluindo indústrias adicionais)	m <sup>3</sup> /h	42,1	42,1
<b>Cargas Afluentes</b>			
Carga CBO <sub>5</sub>	kg/d	774	1400
Carga SST	kg/d	720	1690
<b>Lamas</b>			
Caudal de lamas em excesso a espessar	m <sup>3</sup> /d	72	130
Quantidade de lamas em excesso a espessar	kg SST/ d	575	1041
Carga de sólidos máxima	kg SST/ m <sup>3</sup> /d		70
Concentração de sólidos à saída	% de MS		4

## ETAR de Água Longa



**Figura 4.6** – Esquema de tratamento da ETAR de Água Longa (Fonte: Águas do Noroeste, 2014).

A linha de tratamento da fase líquida é constituída por um pré-tratamento das águas residuais (gradagem, desarenamento/desengorduramento), tratamento biológico e decantação secundária.

O caudal afluyente é recebido numa Estação Elevatória (E.E.) onde é bombeado para a primeira etapa, a gradagem, que pode ser mecânica ou manual (a segunda é utilizada em caso de avaria da primeira) constituindo assim a chamada “Obra-de-entrada”. Os sólidos mais grosseiros são retirados e dá-se a formação do primeiro subproduto do tratamento de águas residuais, os gradados, que são armazenados num contentor para posterior transporte ao aterro sanitário.

Posteriormente, a água residual é encaminhada para um tanque de desarenamento e desengorduramento, onde se realiza o processo de decantação para o desarenamento e o processo de flotação para o desengorduramento. As areias removidas são encaminhadas para um classificador de areias onde também por decantação as escorrências são separadas das areias e encaminhadas ao poço de escorrências. As areias constituem assim o segundo subproduto do tratamento de águas residuais e são, à semelhança dos gradados, transportadas e armazenadas num contentor para encaminhamento até ao aterro sanitário. No

desengorduramento, é aplicado um polímero que agrega as partículas de gordura em flocos de maiores dimensões e são armazenadas num reservatório para posterior encaminhamento ao aterro sanitário.

Após o pré-tratamento, a água residual segue por gravidade até uma câmara de repartição de caudal onde este é distribuído à fase de tratamento seguinte.

O tratamento biológico é realizado num tanque dividido (reator retangular dividido em dois compartimentos, hidraulicamente ligados) com arejamento por três arejadores de superfície e dois agitadores submersíveis. O tanque de arejamento dividido é caracterizado por uma operação contínua, onde a função dos compartimentos é continuamente alternada entre os processos de desnitrificação/nitrificação, ou seja o efluente entra sempre para o canal onde está a ocorrer a desnitrificação (ausência de oxigénio por paragem dos arejadores), enquanto no outro canal ocorre a nitrificação (presença de oxigénio por ação dos arejadores).

No seguimento da linha de tratamento, a água residual sai dos tanques de arejamento e entra, por gravidade, numa câmara de repartição de caudal onde é adicionado um coagulante e que distribui o caudal aos dois decantadores secundários. Aqui ainda é adicionado um coagulante que tem como função promover a remoção de cor do efluente final que tem por meio recetor o rio Leça. Parte do efluente tratado é ainda reutilizada como água de serviço na ETAR.

O poço elevatório de recirculação de lamas é constituído por dois grupos de bombas (três de recirculação e duas de extração). As bombas de recirculação bombeiam as lamas aos tanques de arejamento garantindo a concentração constante de biomassa necessária à remoção de matéria orgânica. As bombas de extração elevam as lamas em excesso para o processo de desidratação onde é aplicado o tratamento adequado.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por um espessamento através de tambor rotativo, e uma desidratação através da centrífuga. A figura 4.7 apresenta o flocculador onde é feita a adição dos polímeros (polieletrólito aniónico e catiónico) imediatamente antes do tambor rotativo instalado. A ETAR de Água Longa usa dois tipos de polímero diferentes nas duas injeções, o polímero aniónico Ambifloc 1167 V e o polímero catiónico Ambifloc C 38 V. A preparação dos polímeros é feita em duas unidades de preparação próprias como a indicada na figura 4.8.

O tambor rotativo (Figura 4.9) cujo modelo é Andritz PDR 900 M, não foi dimensionado para funcionar num determinado número de dias por semana ou por um determinado período de

tempo (horas). Mediante a quantidade de lamas produzidas, o sistema de espessamento é ativo sempre que necessário.



**Figura 4.7** – Injeção de polímero no floculador instalado na ETAR de Água Longa.



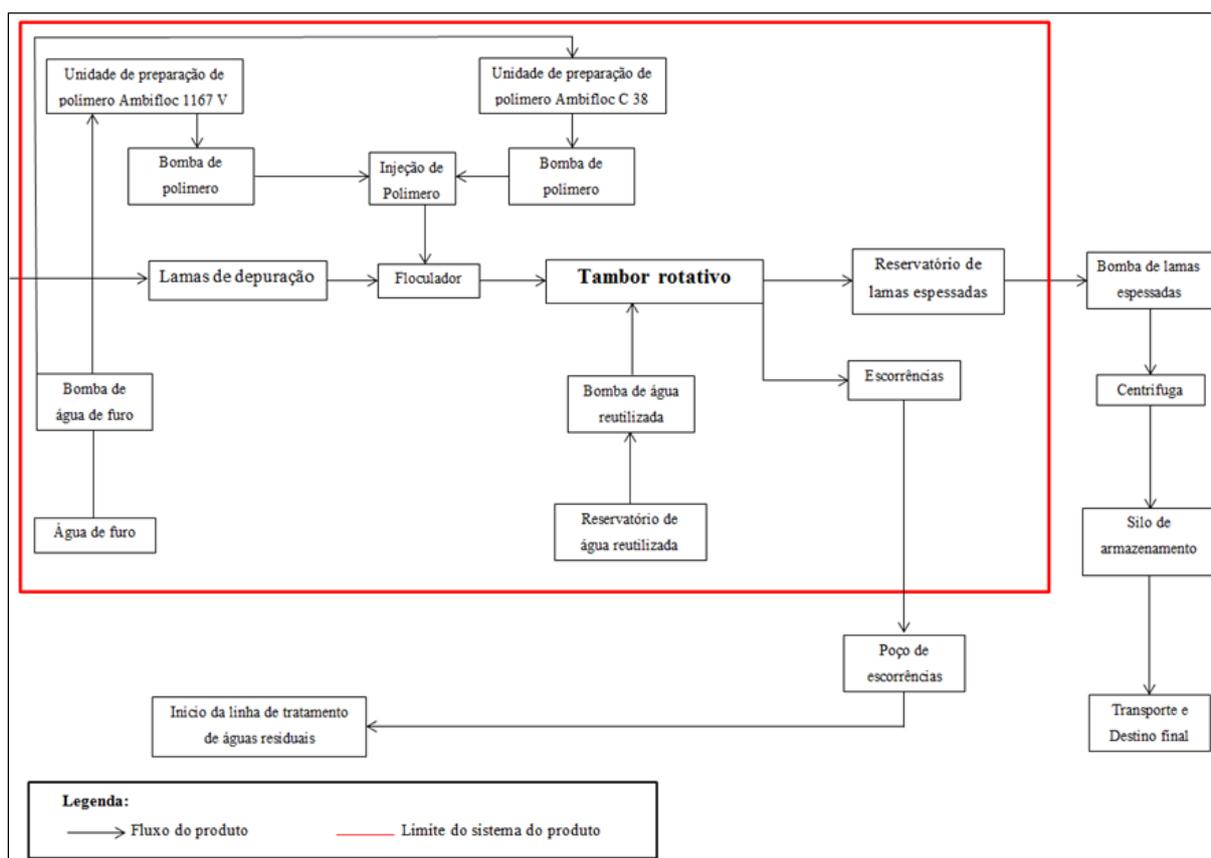
**Figura 4.8** – Modelo da unidade de preparação de polímero instalado na ETAR de Água Longa.



**Figura 4.9** – Tambor rotativo de espessamento *Andritz* instalado na ETAR de Água Longa.

Antes das lamas entrarem na centrífuga para o processo de desidratação, é adicionado novamente um polímero às lamas espessadas, sendo depois bombeadas para um silo onde são acondicionadas até ao serviço externo subcontratado proceder à recolha, transporte e destino final. As escorrências são encaminhadas para o poço de escorrências, e daí elevadas ao início do pré-tratamento.

No seguimento da metodologia adotada no presente estudo, a figura 4.10 apresenta o diagrama do sistema do produto para a ETAR de Água Longa com o respetivo limite e fluxos do sistema.



**Figura 4.10** – Sistema do produto definido para a ETAR de Água Longa.

#### 4.2.3 ETAR de Penices

O subsistema de saneamento de Penices fica situado no Concelho de Vila Nova de Famalicão e serve diversas freguesias daquele concelho, nomeadamente Cavalões, Cruz, Gondifelos, Jesufrei, Louro, Mouquim, Nine, Outiz, Safrá Eulália e Santa Maria e, também, duas freguesias do concelho de Póvoa de Varzim, Balazar e Rates. Este subsistema de saneamento

é composto pela ETAR de Penices e por uma rede de interceptores gravíticos com uma extensão de 26,7 km com diâmetros entre os 200 e 500 mm.

Situada na freguesia de Gondifelos, no Concelho de Vila Nova de Famalicão, além da componente doméstica, a ETAR recebe ainda águas residuais industriais que representam, no ano horizonte de projeto, cerca de 26 % do caudal afluyente e cerca de 20 % da carga orgânica. Esta ETAR foi projetada para tratar 6214 m<sup>3</sup>/dia de águas residuais, correspondendo a um equivalente populacional de 32404 habitantes. As características médias do afluyente à ETAR, previstas em projeto são as apresentadas no quadro 4.3.

**Quadro 4.3** – Dados base de projeto da ETAR de Penices (Fonte: Águas do Ave, 2007).

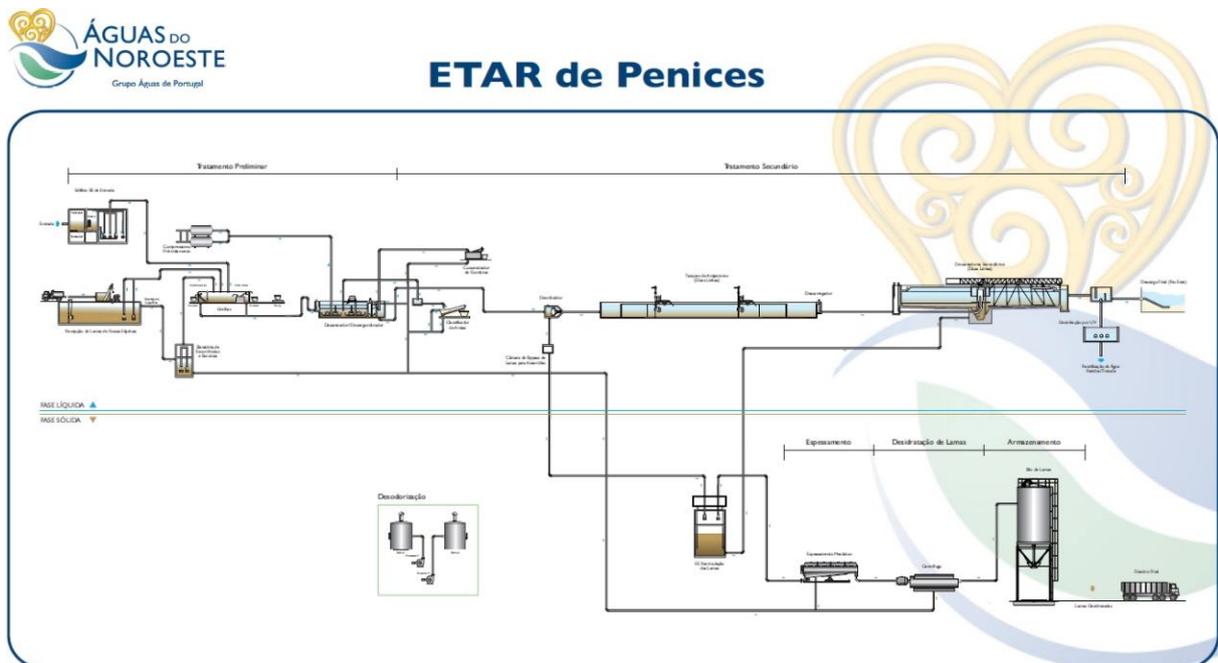
	Unidade	Ano zero	Ano horizonte de projeto (2033)
<b>População</b>			
População		22967	25221
Hab. eq. industriais	hab. hab.eq	6716	6716
Fossas sépticas		467	467
<b>População total</b>	<b>hab.eq</b>	<b>30150</b>	<b>32404</b>
<b>Caudais</b>			
Caudal médio diário	m <sup>3</sup> /d	5988	6410
Caudal de ponta (doméstico)	m <sup>3</sup> /h	327	355
Caudal de ponta (industrial)	m <sup>3</sup> /h	79,2	79,2
<b>Cargas Afluentes</b>			
Carga CBO <sub>5</sub>	kg/d	1809	1944
Carga SST	kg/d	2227	2430
<b>Lamas</b>			
Caudal de lamas em excesso a espessar	m <sup>3</sup> /dia	189	204
Quantidade de lamas em excesso a espessar	kg SST/ d	1512	1632
Carga de sólidos máxima	kg SST/ m <sup>2</sup> /d	Sem dados	Sem dados
Concentração de sólidos à saída	% de MS	Sem dados	Sem dados

Na figura 4.11 é apresentado o esquema de tratamento da ETAR de Penices. O funcionamento desta ETAR é semelhante à ETAR de Água Longa, a diferença está unicamente na câmara de distribuição de caudal à entrada dos tanques de arejamento.

Na ETAR de Penices, toda a água residual que vem do pré-tratamento é encaminhada para a linha anóxica, ou seja, para o canal de arejamento onde está a acontecer o processo de desnitrificação e daqui, é encaminhada para a linha que se encontra a nitrificar. Deste modo, a recirculação de lamas é feita exclusivamente para o tanque onde está a acontecer a nitrificação.

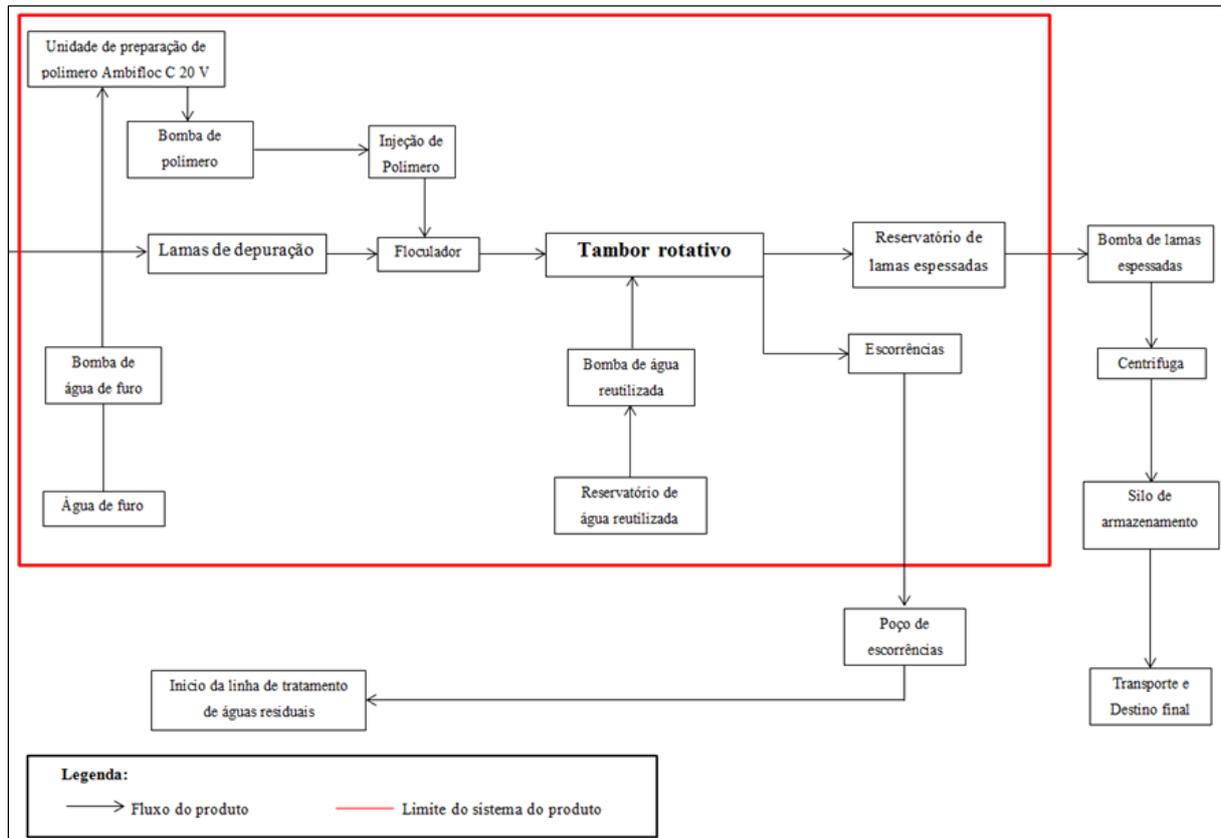
O meio recetor que recebe a descarga final do efluente tratado é o rio Este. Parte da água residual tratada é reutilizada como água de serviço na ETAR.

A linha de tratamento da fase sólida é constituída por um espessamento através de tambor rotativo e desidratação através de uma centrífuga, como na ETAR de Água Longa. A diferença está na utilização de apenas um tipo de polímero nas duas injeções (pré-espessamento e pré-desidratação), o polímero catiónico Ambifloc C 20 V. O tambor rotativo, do mesmo modelo ao instalado em Água Longa, não foi dimensionado para funcionar num determinado número de dias por semana ou por um determinado período de tempo (horas). Mediante a quantidade de lamas produzidas, o sistema de espessamento é ativo sempre que necessário. O polipack instalado na ETAR de Penices é igual ao modelo instalado na ETAR de Água Longa.



**Figura 4.11** – Esquema de tratamento da ETAR de Penices (Fonte: Águas do Noroeste, 2014).

Segundo a metodologia adotada na realização do presente estudo, a figura 4.12 apresenta o diagrama do sistema do produto para a ETAR de Penices com o respetivo limite e fluxos do sistema.



**Figura 4.12** – Sistema do produto definido para a ETAR de Penices.

### 4.3 Análise de inventário

De modo a identificar e quantificar as entradas e saídas relevantes a cada sistema de produto, necessário à fase de análise de inventário, foram realizadas várias visitas às infraestruturas em estudo e definido um período de amostragem de aproximadamente um mês (março de 2015), tendo sido elaborada uma pesquisa de toda a informação considerada pertinente. A recolha da informação foi realizada segundo um boletim de registo de dados elaborado para o efeito e que consta do anexo III.

A consulta de alguns parâmetros foi possível de forma direta em alguns equipamentos presentes nas ETAR, porém, também foi necessário recorrer a alguns cálculos de modo a estimar os valores pretendidos. Os cálculos necessários basearam-se maioritariamente na determinação de áreas (equação 4.5 e 4.6), volumes (equação 4.7), caudais (equação 4.8),

concentrações (equação 4.9), e consumo de equipamentos (equação 4.10). A determinação da potência para calcular os consumos de energia dos equipamentos foi realizada através de um analisador de energia digital (amperímetro), onde o fator potência ( $\cos \varphi$ ) foi considerado igual a 1 (devido à inexistência de um aparelho adequado à sua medição) e o tempo considerado igual a 1h.

$$A(m^2) = c(m) \times l(m) \quad \text{(equação 4.5)}$$

$$A(m^2) = 2 \times \pi \times r \times (h + r) \quad \text{(equação 4.6)}$$

$$V(m^3) = A(m^2) \times h(m) \quad \text{(equação 4.7)}$$

$$Q \left( \frac{m}{h} \right) = \frac{V(m^3)}{t(h)} \quad \text{(equação 4.8)}$$

$$C \left( \frac{g}{L} \right) = m(g) \times V(L) \quad \text{(equação 4.9)}$$

$$P(Kw) = \frac{\sqrt{3} \times I(A) \times U(V) \times \cos \varphi}{1000}, \cos \varphi = 1 \quad \text{(equação 4.10)}$$

Onde:

$A$  – Área ( $m^2$ )

$c$  – Comprimento (m)

$l$  – Largura (m)

$r$  – Raio (m)

$h$  – Altura (m)

$V$  – Volume ( $m^3$ )

$Q$  – Caudal ( $m^3/h$ )

$t$  – tempo (h)

$C$  – Concentração (g/L)

$m$  – massa (g)

$P$  – Potência (kWh)

$I$  – Intensidade (A)

$U$  – Tensão (V)

Os parâmetros cujos valores foram possíveis de aferir no local através da consulta dos equipamentos disponíveis ou da plataforma interna de gestão do processo de tratamento foram:

- i) Caudal de lamas ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
- ii) Caudal de lamas espessadas ( $\text{m}^3/\text{d}$ )
- iii) Quantidade de lamas encaminhadas a destino final ( $\text{kg}/\text{mês}$ )
- iv) Número de horas de funcionamento do espessador (h)
- v) Número de horas de funcionamento da unidade de preparação de polímero (h)
- vi) Número de horas de funcionamento do sistema de bombagem de polímero (h)
- vii) Número de horas de funcionamento do floculador de polímero (h)
- viii) Sólidos suspensos totais nas lamas à entrada do espessador ( $\text{mg SST}/\text{L}$ )
- ix) Concentração de sólidos à saída do espessador (% de matéria seca (MS))
- x) Sólidos suspensos totais nas escorrências ( $\text{mg}/\text{L}$ )

A determinação do custo associado ao uso dos equipamentos foi realizada recorrendo aos horários e tabela de preços estabelecidos pela EDP para o ano de 2015. O quadro IV.1 do anexo IV, apresenta a definição de horários de Inverno (intervalo em que se inclui o presente estudo: 2,5 h em horário de ponta e 4,5 h em horário de cheia) durante a semana (período estabelecido para o funcionamento da linha de tratamento da fase sólida). Os preços de energia considerados na determinação dos custos constam do quadro IV.2 do mesmo anexo.

A análise de impactes foi realizada com base no procedimento de identificação e avaliação de aspetos ambientais da empresa Águas do Noroeste S.A., adaptada ao resultado da análise de inventário. Segundo este procedimento, a significância dos aspetos ambientais (AA) é obtida conforme os critérios de avaliação descritos no quadro V.1 do anexo V, e classificada numa escala graduada de 2 a 128 (Quadro V.2 do anexo V) resultando numa matriz de identificação e avaliação de aspetos ambientais. Os aspetos ambientais são geridos segundo avaliação da sua significância e a prioridade estabelecida, sendo elaboradas propostas de ação com vista à minimização dos aspetos ambientais significativos.

Os indicadores ambientais considerados, apresentados no quadro 4.4, foram definidos para as entradas e saídas do sistema de produto em análise, o espessamento, considerando ainda os aspectos ambientais identificados pelo SGA da empresa e que constam do quadro V.3 do anexo V (matriz de identificação e avaliação de AA), e outros considerados relevantes para o presente estudo, nomeadamente relativos a consumos específicos.

Apesar de se terem definido as fronteiras dos sistemas de acordo com as figuras 4.5, 4.10 e 4.12, foram ainda considerados indicadores que traduzem o consumo específico relativamente à quantidade de água residual tratada (que é uma entrada do sistema global do processo de tratamento de águas residuais). A pertinência destes indicadores é a comparação do desempenho de cada caso de estudo face ao total de água residual que é tratada.

**Quadro 4.4** – Indicadores ambientais para avaliação do desempenho dos sistemas de espessamento.

	Descritor	AA	Indicador	Unidades	Impacte Ambiental	Significância do AA
ENTRADAS	Água	Consumo de água na preparação do polímero	Total de água captada no furo/poço	m <sup>3</sup> /ano	Depleção de recursos naturais/ poluição atmosférica/ emissão de GEE	Não Significativo
			Consumo específico de água de furo/poço por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> lama espessada		
			Consumo específico de água de furo/poço por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> AR tratada		
		Consumo de água na lavagem do espessador	Total de água tratada reutilizada (ATR)	m <sup>3</sup> ATR/ano		Não Significativo
			Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> lama espessada		
			Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> AR tratada		
	Energia	Consumo de recursos	Consumo de energia elétrica	kWh/ano	Não Significativo	
			Eficiência energética	kWh/m <sup>3</sup> lama espessada kWh/m <sup>3</sup> água removida		
	Consumíveis	Consumo de reagente	Consumo de polímero	kg/ano	Consumo de recursos	Não Significativo
			Consumo específico de polímero por volume de lama espessada	kg/m <sup>3</sup> lamas espessadas		
Consumo específico por tonelada de matéria seca			kg/ton MS			
Consumo específico de polímero por volume de água residual (AR) tratada			kg/m <sup>3</sup> AR tratada			
Resíduos	Lamas de espessamento	Lamas à entrada do espessador	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano	Alteração da qualidade do solo/ Contaminação dos recursos hídricos/ Impacte na fauna, flora e saúde pública	Não Significativo	
Resíduos	Produção de resíduos não perigosos	Lamas espessadas	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano			
		Resíduos de embalagem (plástico)	n.º unidades/ano			
		Escorrências	m <sup>3</sup> /ano			
SAÍDAS	Resíduos	Produção de resíduos perigosos	Resíduos de manutenção (óleos, substituição de peças, etc.)	kg/ano	Não Significativo	
		Ar	Emissões atmosféricas	Gases com Efeito de Estufa (GEE)	kg CO <sub>2</sub> /kWh	Emissão de GEE
	Odores			Sem unidade	Incomodidade na vizinhança	

A determinação da emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) foi obtida pela conversão do consumo de energia elétrica (kWh) através de um fator de conversão de emissão de CO<sub>2</sub> por kWh consumido que inclui as perdas de transmissão/distribuição (0,542 kg CO<sub>2</sub>/kWh), como descreve a equação 4.11 (DEFRA, 2010).

$$GEE \left( \text{kg } CO_2 / \text{kWh} \right) = E \text{ (kWh)} \times 0,542 \left( \text{kg } CO_2 / \text{kWh} \right) \quad (\text{equação 4.11})$$

Onde:

*GEE* – Emissão de gases com efeito de estufa (kg CO<sub>2</sub>/kWh)

*E* – Consumo energético (kWh)

Os indicadores definidos para analisar os processos de espessamento de lamas no que respeita ao seu desempenho operacional e económico estão indicados no quadro 4.5.

**Quadro 4.5** – Indicadores de avaliação de desempenho operacional e económico.

Indicadores de controlo de processo		
Categoria	Indicador	Unidades
Desempenho operacional	Concentração de sólidos à entrada	% de MS
	Concentração de sólidos à saída	% de MS
	Eficiência de remoção de água	%
	Eficiência de remoção de volume	%
	SST nas escorrências	mg SST/ L
	Quantidade de lamas a espessar por volume de água residual (AR) tratada	ton/m <sup>3</sup> AR tratada
	Quantidade de lamas espessadas por volume de água residual (AR) tratada	ton/m <sup>3</sup> AR tratada
Desempenho económico	Consumo polímero	€/ano
	Custo de serviços de manutenção (peças sobressalentes, serviços externos, etc.)	€/ano
	Custo de energia	€/ano
	Custo de energia por volume de lama espessada	€/m <sup>3</sup> lama espessada
	Custo de energia por volume de água removida	€/m <sup>3</sup> água removida
	Custo de energia por volume de água residual (AR) tratada	€/m <sup>3</sup> AR tratada
	Custo do espessamento por volume de lama espessada	€/m <sup>3</sup> lama espessada
	Custo do espessamento por volume de água removida	€/m <sup>3</sup> água removida
Custo do espessamento por volume de água residual (AR) tratada	€/m <sup>3</sup> AR tratada	

Nos sistemas de saneamento, os sólidos nas águas correspondem à matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um período fixo. As características das lamas de depuração podem

ser determinadas segundo parâmetros físicos como a quantidade de matéria sólida suspensa ou dissolvida; os sólidos totais (ST), definidos como a matéria que permanece como resíduo após evaporação a 105 °C; os sólidos voláteis totais (SVT), determinados após volatilização da matéria orgânica a 550 °C; os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos suspensos voláteis (SSV) e que correspondem à parte de sólidos totais e voláteis retidos por filtração; e os sólidos dissolvidos (SD) que se obtêm pela diferença de ST e SST. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes, sendo que os métodos empregues são gravimétricos com recurso à balança analítica ou de precisão.

No presente estudo, os parâmetros considerados foram os sólidos suspensos totais (SST) e a percentagem de matéria seca (MS). Segundo o procedimento utilizado pela empresa Águas do Noroeste, S.A. para a determinação analítica de sólidos, o método de determinação de ambos é semelhante, ambas as amostras vão à estufa a uma temperatura de  $105 \pm 5$  °C, o que difere é o tempo que a amostra está na estufa (2 h na determinação de SST e 24 h para determinar a MS), partindo-se da medição de um determinado volume de amostra para a determinação de SST, e de uma determinada massa de amostra para a determinação de MS. Os valores de SST das lamas à entrada do espessador e a MS à saída foram facultados pelos serviços de laboratório da empresa responsável pelo Plano de Controlo de Qualidade do Processo de Águas Residuais (PCQPAR). Para a caracterização dos indicadores foi necessário converter a concentração de SST (mg/L) à entrada do espessador em % de MS (equação 4.12).

$$\% \text{ de } MS = \frac{SST(\frac{g}{L})}{\text{densidade das lamas}} \times 100 \% \quad (\text{equação 4.12})$$

Onde:

% de MS – Matéria seca (%)

SST – Sólidos suspensos totais da água residual (g/L)

e considerando a densidade das lamas a espessar de 1000 g/L

Com o objetivo de analisar comparativamente os processos tecnológicos de espessamento de lamas de depuração, será desenvolvida uma matriz de avaliação, com base em critérios de avaliação considerando os indicadores ambientais, de desempenho operacional e económico definidos segundo o sistema de indicadores apresentados nos quadros 4.4 e 4.5.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A recolha de informação para a análise comparativa dos sistemas mecânicos de espessamento de lama de depuração nas ETAR em estudo foi realizada durante as visitas efetuadas e através de dados fornecidos pela empresa relativos a cada uma das infraestruturas, apresentando-se a informação sistematizada nos quadros 5.1 a 5.10.

A informação relativa ao tipo de água residual afluyente, respetivos caudais e cargas poluentes, população servida, e caudal de lamas de depuração a espessar são apresentadas no quadro 5.1.

**Quadro 5.1** – Quadro resumo de caracterização técnica das ETAR em estudo.

Caso de estudo	Tipo de efluente	Ano	População (hab.eq.)		Caudal afluyente (m <sup>3</sup> /d)		Carga afluyente CBO <sub>5</sub> (kg/d)		Carga afluyente SST (kg/d)		Caudal de lamas espessar (m <sup>3</sup> /d)
			PR	PF	PR	PF	PR	PF	PR	PF	
ETAR Esposende	Doméstico	2014	13084	12 022	3492	-716	785	721	1018	389	sem dados
ETAR Água Longa	Doméstico + Industrial	Horizonte de projeto (2033)	22244		3550		1400		1690		130
ETAR Penices	Doméstico + Industrial	Horizonte de projeto (2033)	32404		6410		1 944		2430		204

Da informação disponibilizada para a caracterização técnica das ETAR em estudo, evidencia-se que na ETAR de Esposende apenas recebe uma água residual doméstica e, na ETAR de Água Longa e Penices, além do efluente doméstico também recebe uma água residual proveniente de indústrias próximas às infraestruturas.

De acordo com a projeção de dados para o ano horizonte de projeto o caudal afluyente à ETAR de Penices é de quase o dobro do estimado para a ETAR de Água Longa (refletindo-se posteriormente num maior caudal de lamas a espessar). As cargas poluentes avaliadas em CBO<sub>5</sub> e SST também são mais elevadas na ETAR de Penices quando comparadas com a ETAR de Água Longa. No quadro 5.2 apresentam-se as características das águas residuais afluentes nas três ETAR, correspondentes ao valor médio calculado para 2015 e o primeiro trimestre de 2015, verificando-se que tanto a ETAR de Penices como a de Água Longa recebem, respetivamente, cerca de 20 e 35 % do caudal de projeto.

**Quadro 5.2** – Caracterização técnica 2014/2015 das ETAR em estudo.

Caso de estudo	Caudal médio de entrada (m <sup>3</sup> /d)		Carga afluyente CBO <sub>5</sub> (mg/L)		Carga afluyente SST (mg/L)		Caudal médio tratado (m <sup>3</sup> /d)		
	2014	2015 (jan. a mar.)	2014	2015 (jan. a mar.)	2014	2015 (jan. a mar.)	jan./15	fev./15	mar./15
ETAR Esposende	sem dados		sem dados		sem dados		2942	3273	2966
							<b>3060</b>		
ETAR Água Longa	649	653	308	188	617	351	451	950	594
	<b>651</b>		<b>248</b>		<b>484</b>		<b>665</b>		
ETAR Penices	2201	2159	508	933	470	531	1866	2527	1859
	<b>2180</b>		<b>721</b>		<b>501</b>		<b>2084</b>		

Apesar do menor caudal e carga afluyente à ETAR de Água Longa, foi possível constatar, junto dos técnicos operativos das referidas ETAR, que ao longo dos anos, os conselhos de Santo Tirso e Vila Nova de Famalicão sofreram um forte desenvolvimento industrial na envolvente das infraestruturas. O que se verifica ao nível operacional é que as características das lamas de depuração que resultam do tratamento da água residual que a ETAR de Água Longa recebe, requerem um tratamento mais complexo para uma desidratação efetiva, comparativamente às lamas de depuração da ETAR de Penices. Sendo os dados disponíveis para avaliar a carga orgânica aplicada apenas relativos à CBO<sub>5</sub>, a fração biodegradável da matéria orgânica afluyente, as características das águas residuais industriais enviadas para a ETAR de Água Longa podem estar subavaliadas no que respeita à matéria orgânica total. De facto, considerando as indústrias instaladas em ambos os conselhos, no caso de Santo Tirso são maioritariamente tinturarias, sendo expectável que contenham produtos de difícil biodegradabilidade.

Relativamente ao caudal médio tratado diariamente, é a ETAR de Esposende que trata o maior volume de águas residuais (3060 m<sup>3</sup>/d), seguida da ETAR de Penices (2084 m<sup>3</sup>/d) e por fim a ETAR de Água Longa (665 m<sup>3</sup>/d).

Considerando o cenário definido para a análise das três ETAR em estudo onde o processo de espessamento (sistema do produto) trabalharia por um período ininterrupto de 7 h diárias, 5 dias por semana, o quadro 5.3 apresenta a estimativa da quantidade de lamas a processar, o consumo diário de polímero (entradas) e a quantidade de lamas espessadas (saída). Semanalmente, há realização de um controlo analítico do processo de tratamento da fase sólida das águas residuais afluentes, através da análise de parâmetros químicos, físicos e biológicos para efeito de conformidade legal.

A informação relativa ao número de horas de funcionamento dos sistemas do produto definidos e ao caudal de lamas de depuração medidos à entrada e saída do equipamento de espessamento, ao longo do período de amostragem, pode ser consultada nos quadros VI.1 e VII.1 (Anexos VI e VII).

**Quadro 5.3** – Caracterização do sistema de espessamento.

Caso de estudo	Tipo de sistema de espessamento	N.º de unidades	Quantidade de lamas a processar (ton/d)	Quantidade de lamas espessadas (ton/d)	Caudal de lamas espessadas (m³/h)	Tipo de polímero	Quantidade de polímero (kg/d)	
ETAR Esposende	Mesa de espessamento	1	203	52,5	7,5	Polieletrólito catiónico	9,57	
ETAR Água Longa	Tambor rotativo	1	334	92	13	Polieletrólito aniónico + catiónico	A	C
							9,15	13,12
							22,27	
ETAR Penices	Tambor rotativo	1	136	45	6,44	Polieletrólito catiónico	4,05	

Pela análise do quadro 5.3, é possível verificar que a mesa de espessamento instalada na ETAR de Esposende consome diariamente 9,57 kg de polímero. Recebendo diariamente uma quantidade de lamas à entrada do equipamento de cerca de 203 ton/d, consegue reduzir para 52,5 ton/d de lamas espessadas, uma redução de 74,1 %.

Na ETAR de Água Longa, pelas características das lamas de depuração, há a necessidade de aplicar dois tipos de polímero (polieletrólito aniónico e catiónico) na linha de tratamento da fase sólida. Deste modo, o consumo de polímero é o mais elevado dos três casos em estudo (22,27 kg/d) conseguindo processar através do tambor rotativo cerca de 334 ton/d e reduzir a 92 ton/d de lamas espessadas, correspondendo a 72,5 %.

A ETAR de Penices tem instalado o mesmo equipamento que Água Longa (tambor rotativo), consome diariamente 4,05 kg de polímero e processa cerca de 136 ton/d de lamas de depuração, apresentando a menor redução de lamas espessadas para 45 ton/d, equivalente a 66,9 %.

No que respeita à capacidade de processamento, o espessamento está dependente do processo seguinte de desidratação, pois não pode haver uma acumulação excessiva de lamas espessadas decorrente da capacidade de armazenamento de lamas espessadas ou da capacidade do equipamento de desidratação. Assim, a otimização da linha de tratamento da fase sólida vai depender das condições locais instaladas. Nos casos de estudo verificam-se duas situações

distintas no que se refere à capacidade de armazenamento das lamas espessadas, diferenciando a capacidade nominal do equipamento de espessamento.

Nas ETAR de Água Longa e Penices, imediatamente a seguir ao tambor rotativo instalado, existe uma tremonha que recebe as lamas espessadas de onde são encaminhadas ao equipamento de desidratação (neste caso a centrífuga). Quando a tremonha atinge um nível de capacidade máximo estabelecido o espessamento para automaticamente, voltando a reiniciar apenas quando é atingido o nível mínimo da capacidade da tremonha. Este processo é regulado por sondas que medem os níveis de capacidade, de forma automática e computadorizada, repetindo-se várias vezes durante o dia, dando origem a inúmeras interrupções no encaminhamento de lamas de depuração ao tambor rotativo e respetiva operação. Na ETAR de Esposende existe um tanque de armazenamento de lamas espessadas de dimensões superiores, cuja capacidade permite uma alimentação contínua do processo de desidratação, permitindo uma capacidade nominal da mesa de espessamento mais próxima do cenário de operação definido para este estudo (operação 7 h/d).

A preparação dos reagentes necessários ao espessamento de lamas de depuração requer o consumo de água captada no furo (no caso das ETAR de Água Longa e Penices) ou poço (no caso da ETAR de Esposende). Este consumo de água é o que tem o impacto ambiental mais significativo ao nível do consumo de recursos hídricos pois constitui uma entrada do processo global do tratamento das águas residuais. A ação que impede a colmatação da tela integrada na mesa de espessamento ou da rede metálica que constitui o tambor rotativo é a lavagem constante dos equipamentos durante o seu funcionamento com água tratada na ETAR e que é reutilizada com água de serviço, promovendo uma valorização de recursos hídricos e uma operação ambientalmente sustentável evitando o consumo de água potável. As escorrências resultantes da lavagem do equipamento com água de serviço e da remoção de água das lamas é encaminhada para o início do processo de tratamento da fase líquida, evitando a descarga de águas contaminadas no meio receptor, contribuindo também para reduzir os impactos ambientais desta atividade. Assim, esta corrente, apesar de ser uma entrada do processo de espessamento, não envolve consumo de recursos hídricos ao nível da operação global da ETAR.

Deste modo, como medida de controlo, as três ETAR têm instalados contadores e medidores de caudal que regulam os consumos de água e, para cada ETAR é emitida uma autorização de

utilização de recursos hídricos renovável. Adicionalmente, de modo a garantir a otimização do processo de espessamento, são ainda realizados regularmente ensaios de verificação de funcionamento, doseamento e manutenção das unidades de preparação de polímero.

O consumo de reagentes assim como os custos associados à sua aquisição e utilização durante o período estabelecido (1 dia de trabalho = 7 h) são apresentados no quadro 5.4. A informação relativa ao período de amostragem nas ETAR de Esposende, Água Longa e Penices, consta dos quadros VIII.1, VIII.2 e VIII.3 do anexo VIII.

**Quadro 5.4** – Preparação de reagente: consumos e custo associados.

Caso de estudo	Preço do polímero (€/kg)		Quantidade (kg/d)		Caudal de água (L/h)		Concentração (g/L)		Custo diário (€/d)	
	A	C	A	C	A	C	A	C	A	C
ETAR Esposende	3,567		9,57		1 132		2,88		34,15	
ETAR Água Longa	3,63	3,06	9,15	13,12	2169	2834	1,93	2,73	33,23	40,15
	6,69		22,27		5003				73,38	
ETAR Penices	3,06		4,05		3028		2,47		12,39	

Segundo os resultados apresentados no quadro 5.4 o polímero catiónico utilizado na ETAR de Penices (Ambifloc C 20 V), apresenta o menor preço (3,06 €/kg), apresentando também o custo diário mais reduzido, de 12,39 €/d, para a preparação à concentração de 2,47 g/L com um consumo de 3028 L/h de água captada no furo. Esta infraestrutura é a que espessa a menor quantidade de lamas diariamente.

Pelas características das lamas geradas na ETAR de Água Longa, há necessidade de aplicar dois reagentes: o polímero catiónico Ambifloc C 38 V (à concentração de 2,73 g/L) e, em menor quantidade, o polímero aniónico – Ambifloc 1167 V (à concentração de 1,93 g/L), com o consumo de 13,12 kg/d e 9,15 kg/d respetivamente. Esta é a infraestrutura com maior consumo de água no processo de espessamento, cerca de 5003 L/h (divididos pela preparação dos dois reagentes), e com o maior custo diário na preparação dos reagentes, 73,38 €/d.

Em relação à ETAR de Esposende, que recebe unicamente água residual doméstica, com uma quantidade de lamas a processar diariamente (203 ton/d) inferior à de Água Longa (334 ton/d) e superior à de Penices (136 ton/d), é de realçar que se trata de uma infraestrutura que consome o menor caudal de água captada no poço, cerca de 1132 L/h, para a preparação do

polímero Rifloc 9175 com a concentração mais elevada quando comparada com os restantes reagentes, cerca de 2,88 g/L.

A informação apresentada no quadro 5.5 pretende comparar o valor de consumo de água reutilizada indicado pelo fabricante do respetivo equipamento com o valor medido nas ETAR. O quadro IX.1, (Anexo IX), apresenta a informação recolhida relativamente ao consumo de água de lavagem nas ETAR em estudo. O consumo de água de serviço (água tratada reutilizada) associado à lavagem dos próprios equipamentos de espessamento em si no final do dia foi desprezado.

**Quadro 5.5** – Consumo de água tratada reutilizada na lavagem dos espessadores.

Caso de estudo	Tipo de sistema de espessamento	Período de funcionamento (h/d)	Largura da tela (m)	Água de lavagem definida pelo fabricante (m <sup>3</sup> /h)	Água realmente consumida (m <sup>3</sup> /h)
ETAR Esposende	Mesa de espessamento	7	2,5	7,5	7,72
ETAR Água Longa	Tambor rotativo	7	2x1	2	5,76
ETAR Penices	Tambor rotativo	7	2x1	2	5,97

Pela análise dos dados do quadro 5.5, é possível constatar que a mesa de espessamento instalada na ETAR de Esposende é o equipamento que melhor se aproxima das características definidas pelo fabricante, excedendo apenas mais 0,72 m<sup>3</sup>/h que o definido.

Relativamente à ETAR de Água Longa e Penices, o tambor rotativo instalado em cada uma das infraestruturas está a consumir cerca de quase 4 m<sup>3</sup>/h que acima do definido pelo fabricante. As características das lamas resultantes da mistura de águas residuais industriais poderá justificar o maior consumo de água pela dificuldade acrescida na lavagem do equipamento.

A principal vantagem neste processo é que a água de serviço utilizada é água que foi tratada na própria ETAR e é reutilizada para o consumo da instalação, ou seja, há uma valorização do recurso. No entanto, voltando a água ao início da linha de tratamento da fase líquida, é importante minimizar o consumo de modo a reduzir o volume de água a entrar de novo no sistema de tratamento.

O quadro 5.6 apresenta uma caracterização do consumo energético total do processo de espessamento instalado em cada uma das ETAR em estudo bem como o custo associado a esse procedimento.

**Quadro 5.6** – Consumo energético total do processo de espessamento e custo associado.

Caso de estudo	Tipo de sistema de espessamento	Período de funcionamento (h/d)	Tensão (V)	Consumo energético (kWh/d)	Custo diário (€/d)
ETAR Esposende	Mesa de espessamento	7	236	138,78	12,91
ETAR Água Longa	Tambor rotativo	7	228	63,58	6,14
ETAR Penices	Tambor rotativo	7	236	63,52	4,93

A análise dos dados apresentados no quadro 5.6 permite verificar que o processo de espessamento instalado em Esposende é o que consome mais energia elétrica comparativamente com as outras ETAR em estudo. O processo de espessamento em Esposende consome diariamente cerca de 138,78 kWh (maioritariamente associado à mesa de espessamento e ao polipack instalados), correspondendo a uma despesa de aproximadamente 12,91 €/d. A ETAR de Água Longa e Penices apresentam consumos energéticos muito próximos, aproximadamente 64 kWh/d, com um custo associado de 6,14 €/d e 4,93 €/d respetivamente. A informação relativa ao período de amostragem nas ETAR de Esposende, Água Longa e de Penices, consta dos quadros X.1, X.2 e X.3 do anexo X.

Apesar de os consumos energéticos serem semelhantes na ETAR de Água Longa e Penices, a diferença no custo poderá estar associada à potência dos equipamentos que é determinada em função da tensão instalada em cada ETAR (como foi exposto no capítulo 4.3). O cenário criado foi idêntico para as duas infraestruturas, contudo, a determinação do custo associado vai ser calculada tendo por base o consumo energético, que por sua vez está dependente da potência dos equipamentos instalados em cada um dos casos.

No que se refere aos custos de pessoal, os técnicos operativos ao serviço das ETAR em estudo são pessoas com formação adequada, como tal, qualquer informação relativa ao custo do pessoal refere-se ao custo total de operação de toda uma rede de ETAR espalhadas pelo litoral do país, entregues à exploração à entidade gestora responsável, neste caso a Águas do Noroeste, S.A.. Deste modo, os técnicos operativos não estão afetos unicamente ao processo de espessamento de lamas das ETAR em estudo, pelo que não foi possível contabilizar o

número de horas gastas na operação dos equipamentos de espessamento, não considerando este fator como relevante para o presente estudo.

Relativamente à operação e manutenção do processo de espessamento de lamas em ambos os equipamentos não há exigências relevantes. No que respeita à flexibilidade de operação e controlo de processo, constata-se que a mesa de espessamento permite uma correção mais do caudal de alimentação de lamas ao equipamento ou do doseamento de polímero, uma vez que se trata de uma estrutura aberta onde facilmente se observa o processamento. O tambor rotativo, sendo uma estrutura fechada, só permite observar uma possível alteração de parâmetros de qualidade da lama espessada quando esta cai na tremonha que a encaminha ao processo de desidratação. Por este motivo, na prática laboral, os técnicos operativos dão preferência à mesa de espessamento.

Os custos de manutenção das ETAR em estudo, isto é, a aquisição de peças e material em geral, custos de mão-de-obra e serviços externos para a manutenção dos equipamentos de espessamento efetuados no ano de 2014, apresentam-se no quadro 5.7. Estas intervenções dão origem à produção de resíduos perigosos geridos de acordo com os procedimentos do Sistema de Gestão Ambiental da Águas do Noroeste, S.A, em cumprimento com os requisitos legais aplicáveis.

Segundo a informação disponibilizada, os custos de manutenção com a mesa de espessamento instalada na ETAR de Esposende foram essencialmente ao nível da manutenção semestral e trimestral da componente elétrica e mecânica do espessamento de lamas, a substituição da tela com 2,5 m de largura, reparações não especificadas da mesa de espessamento, reparações no sistema de bombagem da água tratada reutilizada e ainda reparações da unidade de preparação de polímero.

A ETAR de Água Longa apresentou intervenções quer a nível interno como externo. Internamente, são exemplo a manutenção trimestral da componente elétrica e mecânica do espessamento de lamas, a substituição de medidores ultrassónicos e resistências de aquecimento do polímero, reparações no sistema de bombagem do polímero e melhoria das cubas de preparação, e reparações de fugas na água de serviço (água tratada reutilizada) e de furo. Externamente, foram contratados serviços de reparação das duas unidades de preparação de polímero instaladas na ETAR de Água Longa.

Na ETAR de Penices efetuou-se a manutenção semestral da componente elétrica e mecânica do espessamento de lamas, reparações de sondas de nível nas cubas de preparação e doseamento de polímero, lavagem das telas e substituição dos rotores do sistema de bombagem de polímero.

**Quadro 5.7** – Custo de manutenção dos equipamentos de espessamento (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

Caso de estudo	Tipo de sistema de espessamento	Nº de unidades	Custos de Manutenção (€/ano)			
			Mão-de-obra	Material	Serviço externo	TOTAL
ETAR Esposende	Mesa de espessamento	1	867,50	122,80	0	<b>990,30</b>
ETAR Água Longa	Tambor rotativo	1	987,83	1797,79	770	<b>3555,62</b>
ETAR Penices	Tambor rotativo	1	722,50	222,44	0	<b>944,94</b>

Segundo a análise dos dados apresentados no quadro 5.7, é possível verificar que das três ETAR em estudo, houve uma maior necessidade de manutenção do sistema de espessamento na ETAR de Água Longa, tendo-se despendido aproximadamente 3555 €/ano. Esta situação pode dever-se ao facto de se tratar de uma infraestrutura que recebe água residual doméstica e industrial, havendo uma produção de lamas com características que dificultam a estabilização do floco aos esforços mecânicos do espessamento e posterior desidratação.

A ETAR de Penices, com o mesmo equipamento de espessamento que a ETAR de Água Longa, e recebendo igualmente uma água residual doméstica e industrial, apresenta um custo de manutenção inferior, cerca 944 €/ano. Tal pode justificar-se pelo facto de embora o caudal médio afluyente ser superior nesta infraestrutura assim como a carga orgânica associada, a composição das lamas geradas não dificulta a formação dos flocos de lama espessada.

O custo de investimento atual das duas tecnologias de espessamento de lamas, nomeadamente o custo de instalação de uma mesa de espessamento e o custo de instalação de um tambor rotativo não foi considerado relevante, pois os equipamentos em questão já fazem parte do património da entidade de gestora responsável.

No processamento da fase sólida do tratamento de águas residuais, o processo de espessamento precede o processo de desidratação que, por sua vez antecede o transporte e eliminação das lamas. Quanto mais eficiente for o espessamento de lamas, melhores serão os

resultados obtidos no processo de desidratação, obtendo-se uma maior percentagem de matéria seca na lama desidratada, resultando num menor custo associado ao seu transporte e envio a destino final (reduzindo assim o número de transportes necessários, o custo associado a esses mesmos transportes e, conjuntamente, diminui-se a emissão de gases com efeito de estufa).

De modo a complementar a informação recolhida e facilitar o processo de tomada de decisão quanto ao principal objetivo do presente estudo, mesmo não fazendo parte dos sistemas do produto definidos anteriormente, apresenta-se no quadro 5.8 a quantidade de lamas desidratadas e o custo associado ao transporte e eliminação das lamas nas ETAR em estudo, para o ano de 2014.

No desenvolvimento deste trabalho foi considerada a hipótese como destino final das lamas de depuração a sua valorização agrícola através da sua aplicação no solo como corretivo orgânico. A valorização agrícola de lamas serve, em parte, para tirar partido da matéria orgânica e de nutrientes como fósforo e azoto presentes na sua composição de modo a melhorar o processo produtivo das culturas. Este serviço é prestado por uma entidade subcontratada que é responsável pelo transporte e destino final das lamas de depuração (compostagem). A conformidade legal do encaminhamento a destino final das lamas de depuração deve ser garantido ao nível do processo de desidratação e não do processo de espessamento.

**Quadro 5.8** – Transporte e eliminação de lamas nas ETAR em estudo (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

Caso de estudo	Tipo de sistema de desidratação	Nº de unidades	% de MS na lama desidratada	Quantidade lamas enviada para destino final (ton/ano)	Custo associado (€/ano)
ETAR Esposende	Centrífuga	1	15	2451,28	62483
	Filtro Banda	1			
ETAR Água Longa	Centrífuga	1	17	238,62	5472
ETAR Penices	Centrífuga	1	18	1630,16	37380

Os dados do quadro 5.8 permitem constatar que a ETAR de Esposende apresenta a maior quantidade de lamas desidratadas anualmente (cerca de 2451 ton/ano) e que, conseqüentemente despende de um maior valor monetário na sua eliminação,

aproximadamente 62483 €/ano, refletindo assim um elevado caudal de lamas que, diariamente esta infraestrutura trata (justificando a presença de dois equipamentos de desidratação).

A disparidade destes valores, quando comparados com os das ETAR de Água Longa e Penices deve-se ao facto de a ETAR de Esposende receber lamas provenientes de outras infraestruturas de menor dimensão, que lhe estão próximas, e são desprovidas de equipamentos de tratamento da fase sólida, nomeadamente a ETAR de Fão, a ETAR de Guilheta, a ETAR de S.Paio de Antas, a ETAR de Forjães, a ETAR de Apúlia e a ETAR de Curvos. As lamas de depuração destas infraestruturas não vão ao processo de espessamento mas são contabilizadas no processo de desidratação.

O quadro 5.9 apresenta uma compilação dos dados recolhidos no período de amostragem, de acordo com o sistema de indicadores definido no quadro 4.4, adaptada da avaliação de aspetos ambientais e respetivos impactes ambientais do Sistema de Gestão Ambiental do grupo Águas do Noroeste, S.A. certificado pela norma NP EN ISO 14001.

Não foi possível recolher toda a informação, nomeadamente a produção de resíduos não perigosos (escorrências), a produção de resíduos perigosos provenientes de ações de manutenção do sistema de espessamento e emissão atmosférica por via de maus odores.

As escorrências são a fração de água que é efetivamente extraída das lamas de depuração e que sai juntamente com o volume de água de utilizado na lavagem do equipamento de espessamento. Este subproduto do espessamento de lamas caracteriza-se por apresentar ainda alguns sólidos suspensos totais (SST) que delimitam a eficiência do processo de espessamento, ou seja, se as escorrências apresentarem cor escura, significa que a concentração de SST é elevada e o espessamento não está otimizado (podendo justificar-se pelas características das lamas e/ou dosagem de polímero insuficiente). Se as escorrências aparentam uma cor branca, indica que a concentração de SST é reduzida e que o processo está a suceder corretamente. As escorrências produzidas voltam ao início da linha de tratamento de águas de uma ETAR e, para este caso de estudo seria relevante determinar o seu volume real à saída do espessador/saída do sistema de produto definido). Contudo as ETAR não têm um medidor de caudal de escorrências instalado, pelo que não foi possível avaliá-lo.

A ausência de dados para a quantificação de resíduos perigosos deve-se ao facto de a monitorização dos resíduos produzidos nas ETAR não considerar a diferenciação da sua origem por processo.

Relativamente ao indicador referente às emissões atmosféricas, estima-se que a incomodidade provocada na vizinhança seja diminuta pois as ETAR em estudo não têm habitações na sua proximidade, e porque os maus odores provocados acabam por se limitar à zona de espessamento das lamas de depuração dentro da infraestrutura.

A quantidade de lamas de depuração, à entrada ou saída do equipamento de espessamento, foi considerada como um resíduo uma vez que é, efetivamente, um subproduto do tratamento de águas residuais que, segundo a legislação em vigor, foi atribuído o código LER 19 08 05 “*Resíduos de estações de tratamento... Lamas do tratamento de águas residuais urbanas.*” (Portaria n.º 209/2004, de 3 de março) e, constituem uma entrada do sistema do produto definido para os três casos em estudo, configurando-se igualmente num resíduo à saída do sistema, que prossegue ao tratamento seguinte até ao encaminhamento a destino final, como todo o detentor de resíduos deve proceder (DL n.º 448/85, de 25 de novembro de 1985).

**Quadro 5.9** – Caracterização das entradas e saídas do processo de espessamento: indicadores ambientais.

	Descritor	AA	Descrição	Unidades	Quantificação			Impacte Ambiental	Significância do AA	
					ETAR Esposende	ETAR Água Longa	ETAR Penices			
ENTRADAS	Água	Consumo de água na preparação do polímero	Total de água captada no furo/poço	m <sup>3</sup> /ano	2021	8930	5405	Depleção de recursos naturais/ poluição atmosférica/ emissão de GEE	Não Significativo	
			Consumo específico de água de furo/poço por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> lama espessada	0,15	0,38	0,47			
			Consumo específico de água de furo/poço por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> AR tratada	0,003	0,05	0,01			
		Consumo de água na lavagem do espessador	Total de água tratada reutilizada (ATR)	m <sup>3</sup> ATR/ano	13780	10286	10656			
			Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> lama espessada	1,03	0,44	0,93			
			Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> AR tratada	0,02	0,06	0,02			
	Energia	Consumo de recursos	Consumo de energia elétrica	kWh/ano	35388	16213	16198	Não Significativo		
			Eficiência energética	kWh/m <sup>3</sup> lama espessada	2,64	0,69	1,41			
				kWh/m <sup>3</sup> água removida	0,67	0,22	0,47			
	Consumíveis	Consumo de reagente	Consumo de polímero	kg/ano	2440	5680	1033	Consumo de recursos	Não Significativo	
Consumo específico de polímero por volume de lama espessada			kg/m <sup>3</sup> lamas espessadas	0,18	0,24	0,09				
Consumo específico por tonelada de matéria seca			kg/ton MS	4,2	11,9	3,2				
Consumo específico de polímero por volume de água residual (AR) tratada			kg/m <sup>3</sup> AR tratada	0,003	0,03	0,002				
Resíduos	Lamas de espessamento	Lamas à entrada do espessador	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano	51765	85085	34708	Alteração da qualidade do solo/ Contaminação dos recursos hídricos/ Impacte na fauna, flora e saúde pública	Não Significativo		
Resíduos	Produção de resíduos não perigosos	Lamas espessadas	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano	13388	23354	11475				
		Resíduos de embalagem (plástico)	n.º unidades/ano	98	227	41				
		Escorrências	m <sup>3</sup> /ano	sem dados	sem dados	sem dados				
SAÍDAS	Resíduos	Produção de resíduos perigosos	Resíduos de manutenção (óleos, substituição de peças, etc.)	kg/ano	sem dados	sem dados	sem dados			
		Ar	Emissões atmosféricas	Gases com Efeito de Estufa (GEE)	kg CO <sub>2</sub> /kWh	10,7	4,921	4,916	Emissão de GEE	Não Significativo
				Odores	Sem unidade	sem dados	sem dados	sem dados	Incomodidade na vizinhança	

A análise comparativa dos indicadores ambientais considerados no presente estudo permite verificar que relativamente às entradas e saídas do processo de espessamento:

### **i) Consumo de água na preparação do polímero**

A ETAR de Água Longa é a infraestrutura que consome o maior volume de água captada no furo para a preparação de reagentes, cerca de 8930 m<sup>3</sup>/ano, fundamentado pela utilização de dois tipos de polímero no tratamento das lamas de depuração geradas.

Já no que respeita ao consumo específico, é a ETAR de Penices que apresenta o consumo de água captada no furo por volume de lama espessada mais elevado, 0,47 m<sup>3</sup> de água de furo/m<sup>3</sup> lama espessada, sendo o equipamento com a maior incidência ambiental relativamente a esta entrada. Comparando este consumo de água considerando o processo global de tratamento, mais uma vez se verifica que a ETAR de Água Longa, com o menor caudal de água residual a tratar, tem o pior desempenho com um consumo de 0,05 m<sup>3</sup> água furo/m<sup>3</sup>AR tratada.

### **ii) Consumo de água na lavagem do espessador**

O processo de espessamento instalado na ETAR de Esposende (mesa de espessamento) é o que consome anualmente o maior volume de água tratada reutilizada (13780 m<sup>3</sup> ATR/ano), apresentando igualmente o maior consumo de ATR específico, cerca de 1,03 m<sup>3</sup> ATR/m<sup>3</sup> lama espessada.

A ETAR de Água Longa, apesar de apresentar os valores mais baixos nestes indicadores associados à entrada de água no sistema definido, tem o maior consumo de água tratada reutilizada por volume de água residual (AR) tratada (0,06 m<sup>3</sup> ATR/m<sup>3</sup> AR tratada) pois apesar de ter um consumo anual de ART idêntico ao da ETAR de Penices, o caudal de AR que recebe para tratamento é 30 % do caudal de AR tratado nesta ETAR.

### **iii) Consumo de energia**

O sistema de espessamento com o maior consumo de energia elétrica é o da ETAR de Esposende, cerca de 35388 kWh/ano, comparativamente com o definido para a ETAR de Água Longa (16213 kWh/ano) e o da ETAR de Penices (16198 kWh/ano). O elevado consumo energético na ETAR de Esposende reflete-se ainda na relação do consumo específico, cerca de 2,69 kWh/m<sup>3</sup> lama espessada, valor superior ao verificado na

ETAR de Penices (1,41 kWh/m<sup>3</sup> lama espessada) e na ETAR de Água Longa (0,69 kWh/m<sup>3</sup> lama espessada).

Ao nível da eficiência energética avaliada pelo consumo de energia por quantidade de água removida, a ETAR de Esposende apresenta o consumo mais elevado, 0,67 kWh/m<sup>3</sup> água removida, comparativamente com a ETAR de Penices (0,47 kWh/m<sup>3</sup> água removida) e a ETAR de Água Longa (0,22 kWh/m<sup>3</sup> água removida). A utilização de dois polímeros coadjuvantes do espessamento na ETAR de Água Longa poderão justificar a maior eficiência energética nesta ETAR.

#### **iv) Consumo de reagente**

De entre os casos de estudo, a ETAR de Água Longa é a única que utiliza dois tipos de polímero (devido às características das lamas produzidas resultantes do tratamento de efluente doméstico e industrial proveniente de indústrias do ramo têxtil e tinturaria), o que reflete no consumo de polímero superior ao das outras infraestruturas, cerca de 5680 kg/ano.

Pelo mesmo motivo os consumos específicos na ETAR de Água Longa são os mais elevados, representando cerca de 0,24 kg/m<sup>3</sup> de lama espessada na relação do consumo de polímero por tonelada de matéria seca obtida (11,9 kg/ton MS), e um consumo de 0,03 kg/m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada. O sistema de espessamento da ETAR de Penices é o que tem o melhor desempenho relativamente ao consumo de polímero.

#### **v) Lamas de espessamento**

O tambor rotativo de espessamento mecânico instalado na ETAR de Água Longa é o equipamento que trata o maior caudal de lamas de depuração a espessar, 85085 m<sup>3</sup>/ano, seguindo-se a mesa de espessamento na ETAR de Esposende que processa cerca de 51765 m<sup>3</sup>/ano, e o tambor rotativo da ETAR de Penices (34708 m<sup>3</sup>/ano).

#### **vi) Produção de resíduos**

A quantidade de lamas espessadas é superior na ETAR de Água Longa (23354 m<sup>3</sup>/ano) e inferior na ETAR de Penices (11475 m<sup>3</sup>/ano), justificando-se por receberem respetivamente o maior e menor volume de lamas tratadas para processar.

Relativamente à produção de resíduos de embalagem, nomeadamente plástico proveniente do acondicionamento do polímero, também o n.º de embalagens produzidas

anualmente se relacionam com o consumo deste reagente, com o maior n.º de unidades/ano produzida na ETAR de Água Longa, cerca de 227 unidades/ano, pois são utilizados dois polímeros no espessamento.

#### vii) Emissões atmosféricas

Uma vez que o sistema do produto definido para a ETAR de Esposende tem associado o maior consumo de energia elétrica, ao converter esse consumo energético em emissão de gases com efeito de estufa (GEE) obtêm-se uma emissão de cerca de 10,7 kg CO<sub>2</sub>/kWh, valor superior ao verificado na ETAR de Água Longa e Penices onde a emissão de GEE é respetivamente de 4,921 kg CO<sub>2</sub>/kWh e 4,916 kg CO<sub>2</sub>/kWh.

A caracterização dos indicadores de desempenho operacional e económico dos sistemas de espessamento são apresentados no quadro 5.10. A informação relativa à concentração de sólidos nas lamas de depuração medida ao longo período de amostragem consta no quadro XI.1 do anexo XI.

**Quadro 5.10** – Avaliação dos indicadores de desempenho operacional e económico.

Indicadores de controlo de processo			Quantificação		
Categoria	Indicador	Unidades	ETAR Esposende	ETAR Água Longa	ETAR Penices
Desempenho operacional	Concentração de sólidos à entrada	% de MS	1,18	0,55	1,03
	Concentração de sólidos à saída	% de MS	4,29	3,61	2,83
	Eficiência de remoção de água	%	72,5	84,8	63,6
	Eficiência de remoção de volume	%	74,1	72,5	66,9
	SST nas escorrências	mg SST/ L	118	663	2131
	Quantidade de lamas a espessar por volume de água residual (AR) tratada	ton/m <sup>3</sup> AR tratada	0,066	0,50	0,065
	Quantidade de lamas espessadas por volume de água residual (AR) tratada	ton/m <sup>3</sup> AR tratada	0,017	0,14	0,022
Desempenho económico	Consumo polímero	€/ano	8709	18711	3160
	Custo de serviços de manutenção (peças sobressalentes, serviços externos, etc.)	€/ano	990	3556	945
	Custo de energia	€/ano	3292	1566	1257
	Custo de energia por volume de lama espessada	€/m <sup>3</sup> lama espessada	0,25	0,07	0,11
	Custo de energia por volume de água removida	€/m <sup>3</sup> água removida	0,05	0,02	0,03
	Custo de energia por volume de água residual (AR) tratada	€/m <sup>3</sup> AR tratada	0,004	0,009	0,002
	Custo do espessamento por volume de lama espessada	€/m <sup>3</sup> lama espessada	0,97	1,02	0,47
	Custo do espessamento por volume de água removida	€/m <sup>3</sup> água removida	0,2	0,3	0,1
	Custo do espessamento por volume de água residual (AR) tratada	€/m <sup>3</sup> AR tratada	0,02	0,14	0,01

A análise comparativa dos indicadores de desempenho operacional e económico, considerados no presente estudo permite verificar que:

### **i) Desempenho operacional**

O tambor rotativo instalado na ETAR de Água Longa tem a melhor eficiência na remoção de água (84,8 %) permitindo que uma lama de depuração de concentração 0,55 % de MS, resultante de um efluente doméstico e industrial, espesse a uma concentração à saída do equipamento de cerca de 3,61 % de MS.

A mesa de espessamento instalada na ETAR de Esposende obteve uma melhor eficiência na redução de volume de lamas, 74,1 %, e uma remoção de água de 72,5 %, permitindo que uma lama de depuração de concentração 1,18 % de MS, resultante de um efluente unicamente doméstico, espessasse a uma concentração à saída do equipamento de cerca de 4,29 % de MS. As escorrências produzidas neste processo de espessamento têm a menor concentração de SST, 118 mg SST/L, evidenciando um bom desempenho operacional na eliminação de água das lamas comparativamente às ETAR de Água Longa e Penices onde as escorrências têm concentração de SST respetivamente de 663 mg/L e 2131 mg/L.

Na relação entre a quantidade de lamas a espessar e o volume de água residual tratada, verifica-se que a ETAR de Água Longa processa cerca de 0,5 ton/m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada, enquanto a ETAR de Esposende e a ETAR de Penices processam uma quantidade inferior, de aproximadamente 0,07 ton/ m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada. Esta diferença pode estar associada às características da água residual recebida na ETAR de Água Longa que recebe águas residuais de indústrias têxteis e tinturarias, e resultam na maior produção específica de lamas. Pela mesma razão o tambor rotativo instalado na ETAR de Água Longa obteve uma maior quantidade de lamas espessadas por volume de água residual tratada (0,14 ton/m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada), quando comparado com o desempenho do mesmo equipamento na ETAR de Penices (0,02 ton/m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada) e a mesa de espessamento instalada na ETAR de Esposende (0,02 ton/m<sup>3</sup> água residual (AR) tratada).

### **ii) Desempenho económico**

Uma vez que a ETAR de Água Longa apresenta o maior consumo de polímero, este facto reflete-se no custo associado (18711 €/ano), seguida da ETAR de Esposende que

despense de 8709 €/ano e por fim a ETAR de Penices com o menor custo associado ao consumo de polímero (3160 €/ano).

O equipamento de espessamento da ETAR de Água Longa foi o que careceu de uma maior intervenção ao nível da manutenção, tendo sido necessário gastar cerca de 3556 €/ano, enquanto o sistema do produto definido para a ETAR de Penices foi o que necessitou de um menor investimento (945 €/ano).

Relativamente aos custos associados ao consumo de energia, a ETAR de Esposende despense de cerca de 3292 €/ano, seguida da ETAR de Água Longa (1566 €/ano) e da ETAR de Penices (1257 €/ano).

A relação do custo energético com o volume de lamas espessadas e com o volume de água removida é superior na ETAR de Esposende (0,25 €/m<sup>3</sup> lama espessada e 0,05 €/m<sup>3</sup> água removida), seguida da ETAR de Penices (0,11 €/m<sup>3</sup> lama espessada e 0,03 €/m<sup>3</sup> água removida), e da ETAR de Água Longa, com o melhor desempenho económico do sistema de espessamento (0,07 €/m<sup>3</sup> lama espessada e 0,02 €/m<sup>3</sup> água removida).

O custo de energia por volume de água residual (AR) tratada apresenta uma relação mais elevada na ETAR de Água Longa (0,009 €/m<sup>3</sup> AR tratada) quando comparada com a ETAR de Esposende (0,004 €/m<sup>3</sup> AR tratada) e a ETAR de Penices (0,002 €/m<sup>3</sup> AR tratada).

No que se refere ao custo total do espessamento por volume de lama espessada, a ETAR de Água Longa é a infraestrutura que apresentou o valor mais elevado dependendo de cerca de 1,02 €/m<sup>3</sup> lama espessada, comparativamente com a ETAR de Esposende (0,97 €/m<sup>3</sup> AR tratada) e a ETAR de Penices (0,47 €/m<sup>3</sup> AR tratada). O custo do espessamento por volume de água removida é igualmente superior na ETAR de Água Longa (0,3 €/m<sup>3</sup> água removida) assim como o custo do espessamento por volume água residual tratada (0,14 €/ m<sup>3</sup> AR tratada).

Assim, verifica-se que a necessidade de utilização dos dois polímeros na ETAR de Água Longa associada a qualidade da água residual tratada assegura um bom desempenho operacional, traduzido na capacidade de remoção de água das lamas, mas trás custos associados que afetam significativamente o desempenho económico do seu sistema de espessamento.

Para a análise comparativa dos processos de espessamento mecânico de lamas de depuração em estudo, propõe-se uma avaliação com base em critérios: i) quantitativos, com a atribuição de uma classificação a cada indicador em função da ordenação quantitativa, numa escala de 1 a 3, sendo atribuído o valor 1 ao mais baixo, e 3 ao mais elevado; ii) de severidade, traduzida na ponderação de cada indicador relativamente ao impacte ambiental/económico associado, numa escala de 1 a 3 (Quadro 5.11).

**Quadro 5.11** – Escala de avaliação dos critérios considerados nas ETAR em estudo.

Quantidade (ordenação quantitativa), Q	Severidade, S	Avaliação
1 – Valor numérico mais baixo	1 – Impacte ambiental/económico baixo	$\Sigma(Q \times S)$
2 – Valor numérico médio	2 - Impacte ambiental/económico médio	
3 – Valor numérico mais elevado	3 - Impacte ambiental/económico elevado	

O quadro 5.12 apresenta o resultado da avaliação proposta, segundo os critérios de avaliação considerados de acordo com o quadro 5.11.

Segundo os resultados obtidos no quadro 5.12 é possível comprovar que o sistema de espessamento com pior desempenho global é o da ETAR de Água Longa, que obteve a maior pontuação final (184), seguido do da ETAR de Esposende (155) e do da ETAR de Penices (115). A mesma tendência é observada considerando os subtotais calculados para os indicadores ambientais, de desempenho operacional e económico.

Assim verifica-se que a complexidade das características qualitativas das lamas de depuração que a ETAR de Água Longa processa resulta no agravamento do seu desempenho ambiental, operacional e económico no processo de espessamento.

A ETAR de Penices obteve o resultado mais baixo nesta avaliação, evidenciando o melhor desempenho segundo a metodologia proposta. No entanto, ao nível da operação, identifica-se a oportunidade de melhorar o desempenho do tambor rotativo instalado, no sentido de aumentar a eficiência de remoção de água, que resultaria num aumento de % de MS das lamas espessadas, e reduzir a concentração de SST nas escorrências para diminuir a contribuição de carga poluente na linha de tratamento da fase líquida.

Os resultados obtidos na avaliação para a ETAR de Esposende, à qual corresponde o valor intermédio juntamente com a análise desenvolvida ao longo do estudo, indicam que a mesa de espessamento é o equipamento que apresenta um melhor desempenho na utilização de recursos naturais em comparação com o tambor rotativo, nomeadamente

no consumo de água captada no poço/furo utilizada na preparação do reagente (políeletrólito) aplicado. Ao nível do desempenho operacional o processo de espessamento de lamas de depuração desenvolvido na mesa de espessamento, associado às características qualitativas das lamas da ETAR de Esposende, apresenta a melhor eficiência na diminuição do volume das lamas, produz a lama espessada com a maior % de matéria seca e as escorrências com o menor teor de sólidos (SST). No entanto o consumo energético associado à sua operação é o mais elevado, traduzindo-se ainda na penalização ao nível da emissão de GEE e custos de operação.

A comparação entre as três infraestruturas permite indicar que seria interessante analisar e avaliar o desempenho do espessamento de lamas na mesa de espessamento também em lamas provenientes de águas residuais urbanas (com mistura de águas residuais industriais), uma vez que a ETAR de Esposende (local onde está instalada) processa unicamente lamas de depuração de águas residuais domésticas e com a remodelação em curso a mesa de espessamento será substituída.

**Quadro 5.12** – Matriz de avaliação de desempenho das ETAR em estudo.

Critério de Avaliação	S	ETAR de Esposende		ETAR de Água Longa		ETAR de Penices		
		Q	Avaliação	Q	Avaliação	Q	Avaliação	
<b>AMBIENTAL</b>	Total de água captada no furo/poço	3	1	3	3	9	2	6
	Consumo específico de água de furo/poço por volume de lama espessada	3	1	3	2	6	3	9
	Consumo específico de água de furo/poço por volume de AR tratada	3	1	3	3	9	2	6
	Total de água tratada reutilizada (ATR)	1	3	3	1	1	2	2
	Consumo específico de ATR por volume de lama espessada	1	3	3	1	1	2	2
	Consumo específico de ATR por volume de AR tratada	1	1	1	3	3	2	2
	Consumo de energia elétrica	3	3	9	2	6	1	3
	Eficiência energética por volume de lama espessada	3	3	9	1	3	2	6
	Eficiência energética por volume de água removida	3	3	9	1	3	2	6
	Consumo de polímero	3	2	6	3	9	1	3
	Consumo específico de polímero por volume de lama espessada	3	2	6	3	9	1	3
	Consumo específico de polímero por tonelada de matéria seca	3	2	6	3	9	1	3
	Consumo específico de polímero por volume de AR tratada	1	2	2	3	3	1	1
	Lamas à entrada do espessador	2	2	2	3	6	1	2
	Lamas espessadas	2	2	2	3	6	1	4
	Resíduos de embalagem (plástico)	2	2	4	3	6	1	2
	Escorrências	1	-	-	-	-	-	-
	Resíduos de manutenção (óleos, substituição de peças, etc.)	3	-	-	-	-	-	-
	Gases com Efeito de Estufa (GEE)	3	3	9	2	6	1	3
	Odores	1	-	-	-	-	-	-
<b>Subtotal</b>			<b>80</b>		<b>95</b>		<b>63</b>	
<b>OPERACIONAL</b>	Concentração de sólidos à entrada	2	3	6	1	2	2	4
	Concentração de sólidos à saída	2	3	6	2	4	1	2
	Eficiência de remoção de água	3	2	6	3	9	1	3
	Eficiência de remoção de volume	3	1	3	2	6	3	9
	Sólidos suspensos totais nas escorrências	2	1	2	2	4	3	6
	Quantidade de lamas a espessar por volume de AR tratada	2	2	4	3	6	1	2
	Quantidade de lamas espessadas por volume de AR tratada	2	1	2	3	6	2	4
<b>Subtotal</b>			<b>29</b>		<b>37</b>		<b>30</b>	
<b>ECONÓMICO</b>	Consumo polímero	3	2	6	3	9	1	3
	Custo de serviços de manutenção (peças sobressalentes, serviços externos, etc.)	3	2	6	3	9	1	3
	Custo de energia	2	3	6	2	4	1	2
	Custo de energia por volume de lama espessada	2	3	6	1	2	2	4
	Custo de energia por volume de água removida	2	3	6	2	4	1	2
	Custo de energia por volume de AR tratada	1	2	2	3	3	1	1
	Custo do espessamento por volume de lama espessada	3	2	6	3	9	1	3
	Custo do espessamento por volume de água removida	3	2	6	3	9	1	3
	Custo do espessamento por volume de AR tratada	1	2	2	3	3	1	1
<b>Subtotal</b>			<b>46</b>		<b>52</b>		<b>22</b>	
<b>TOTAL</b>			<b>155</b>		<b>184</b>		<b>115</b>	

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do presente estudo envolveu a definição dos limites dos sistemas de processamento de lamas de depuração nas ETAR de Esposende, Água Longa e Penices para análise, e permitiu identificar, caracterizar e analisar as suas entradas, saídas de acordo com um sistema de indicadores ambientais, de desempenho operacional e económico, com o objetivo de comparar os equipamentos de espessamento mecânico instalados.

A metodologia adotada teve por base uma Análise de Ciclo de Vida (ACV), para a definição do objetivo e âmbito da análise, a definição do sistema de produto e a análise de inventário. A caracterização dos indicadores definidos foi realizada com base na recolha de dados nas ETAR em estudo.

Ao longo do estudo ocorreram algumas situações imprevistas, tais como ausência de medidores de caudal em correntes a caracterizar, a existência de equipamentos de medição obsoletos ou a falha de calibração de equipamentos de doseamento em algumas unidades de preparação de polímero. Estas situações exigiram a repetição de algumas amostragens e adaptar a recolha da informação necessária à análise de inventário com as condições existentes em cada um dos casos de estudo. Foram realizadas as estimativas necessárias para o cenário de operação considerado, a operação dos equipamentos 7 h/d durante 5 d/semana, superior ao período efetivo de operação do equipamento podendo estar na origem da sobre-estimativa de alguns consumos. Para a comparação dos três sistemas foi desenvolvida uma matriz de avaliação com base em critérios quantitativos e de severidade para a ponderação da relevância de cada indicador no cálculo de desempenho final.

Relativamente à análise comparativa do processo de espessamento nas ETAR em estudo, onde são utilizadas duas tecnologias de espessamento, a mesa de espessamento e o tambor rotativo, é possível apresentar as seguintes conclusões:

i) Os principais impactes identificados nos sistemas do produto definidos, independentemente da ETAR em estudo ou da tecnologia de espessamento instalada, prendem-se essencialmente com o consumo de recursos naturais, associado ao consumo de água captada no furo/poço, à alteração da qualidade do ar associada às emissões atmosféricas em particular as que decorrem do consumo energético, e a alteração da qualidade e contaminação de solos e recursos hídricos que poderão vir a comprometer a

fauna, flora e a saúde pública. Atualmente as entidades gestoras de infraestruturas como as ETAR, conscientes da questão da proteção do meio ambiente, têm implementado medidas de controlo e gestão de impactos associados à sua atividade segundo um Sistema de Gestão Ambiental, no caso da empresa Águas do Noroeste S.A.. Desta forma assegura-se a adoção da Melhor Técnica Disponível (MTD) para a gestão ambiental na organização;

ii) A reutilização de água tratada na própria infraestrutura para a lavagem dos equipamentos de espessamento, independentemente da tecnologia de espessamento instalada, pode considerar-se uma MTD, permitindo minimizar o impacto ambiental do processo de espessamento pois evita o consumo de água potável. A necessidade de controlar e minimizar o consumo de água tratada reutilizada permite reduzir o volume de água enviada ao início da linha de tratamento da fase líquida;

iii) A otimização do processo de espessamento resulta de um conjunto de fatores atendendo às características da linha de tratamento da fase líquida e das condições de operação, que irão definir a maior ou menor quantidade de lamas a espessar e as respetivas características. Como se verificou entre os casos de estudo a origem das águas residuais, domésticas ou urbanas e, neste caso, a atividade das indústrias que descarregam as suas águas residuais no coletor municipal, influencia as características das lamas, sendo necessário ajustar o tratamento a aplicar, o tipo de polímero e a programação do seu doseamento na unidade de preparação de polímero. Assim, a utilização de dois polímeros na ETAR de Água Longa para ter a eficiência necessária no espessamento das lamas é penalizador ao nível de consumo de recursos (água de poço/furo e de polímero), repercutindo-se ao nível do desempenho económico;

iv) O tambor rotativo apresenta uma eficiência energética superior à da mesa de espessamento, no entanto a mesa de espessamento tem melhor desempenho ambiental no que respeita à utilização de recursos naturais em comparação com o tambor rotativo, nomeadamente no consumo de água captada no poço/furo utilizada na preparação do reagente (polímero). A mesa de espessamento produz lamas espessadas e escorrências de qualidade superior. Considerando a disponibilidade deste equipamento devido à remodelação da ETAR de Esposende, poderá ser considerada a sua utilização noutra infraestrutura explorada pela entidade gestora, sendo que a sua aplicação a águas residuais urbanas teria de ser testada e otimizada;

v) A realização de um controlo do processo de tratamento baseado na monitorização das suas entradas e saídas, incluindo parâmetros analíticos de qualidade das lamas e escorrências como o teor de matéria seca e a concentração de sólidos suspensos totais, permitem obter o histórico do sistema de espessamento possibilitando uma melhor avaliação do desempenho ambiental, operacional e económico, no sentido de identificar possíveis ações de melhoria e avaliar a eficácia da sua implementação.

O objetivo primordial do tratamento de lamas de depuração de ETAR passa pela redução do seu impacto ambiental, objetivo que deve ser conseguido com o menor custo possível em todo o seu ciclo de vida, o que está associado à redução do seu peso e volume para minimizar custos e emissões no tratamento, transporte e destino final. Assim, as decisões a tomar na gestão das lamas de depuração ao longo do seu ciclo de vida, nomeadamente a escolha da tecnologia de espessamento de lamas de depuração vai depender de inúmeros fatores como o tipo de água residual que a ETAR trata, das restrições do local onde está localizada a linha de tratamento da fase sólida, das características e do volume de lamas a tratar, dos tratamentos a jusante, do nível de tratamento desejado e do destino final que se pretende dar.

A concretização deste trabalho permitiu o levantamento e análise de informação segundo uma metodologia que permite a avaliação comparativa de processos de espessamento, dando um importante contributo à identificação dos fatores mais significativos do seu desempenho ambiental, operacional e económico, refletido ainda ao nível global do tratamento de água residual tratada (avaliado pelos consumos específicos, por volume de água residual tratada).

Apesar do âmbito deste estudo se centrar no processo de espessamento, a análise dos resultados obtidos para a ETAR de Água Longa permitem concluir da relação entre do seu pior desempenho ambiental, operacional e económico associado às características das lamas, por sua vez associadas ao tipo de águas residuais industriais recebidas. A evidência deste agravamento poderia ser a base da definição de preços de tratamento diferenciados a cobrar às descargas em coletor municipal, baseadas em critérios de qualidade mais abrangentes do que os atuais.

Pela relevância da informação produzida com este estudo para a gestão das ETAR, considera-se uma oportunidade de melhoria alargar esta análise a todo o processo de tratamento, contribuindo para a identificação e implementação de MTD e para uma melhor avaliação e compreensão do custo real associado ao tratamento de águas

residuais. Esta informação permitiria adequar os tarifários à realidade de cada infraestrutura e recuperar os custos inerentes aos serviços prestados, melhorando o seu desempenho e ecoeficiência. Esta questão, integrada no PENSAAR 2020, que prevê a dinamização do serviço de Saneamento e Águas Residuais com base na gestão do setor numa ótica da otimização e gestão eficiente de recursos e subprodutos, e a sustentabilidade social, ambiental e económica

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administração da Região Hidrográfica do Norte I.P, 04 de junho, 2010. ETAR de Água Longa. Autorização de utilização dos recursos hídricos para captação de água superficial/subterrânea, 3 pp.
- Administração da Região Hidrográfica do Norte I.P, 04 de junho, 2010. ETAR de Penices. Autorização de utilização dos recursos hídricos para captação de água superficial/subterrânea, 3 pp.
- Afonso, C., Gomes, E., Dantas, M., Barroso, J., 2014. Determinação analítica de sólidos. Águas do Noroeste, S. A., 7 pp.
- Águas do Noroeste, S. A., 2015. Disponível em: <http://www.adnoroeste.pt/>. [consultado de outubro de 2014 a abril de 2015]
- Agência Europeia do Ambiente, 2015. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/pt>. [consultado de dezembro de 2014 a fevereiro de 2015]
- AEA, 1997. Sludge Treatment and Disposal, Management Approaches and Experiences. ISWA's Working Group on Sewage e Waterworks Sludge, 54 pp.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 2015. Disponível em: <http://www.apambiente.pt/>. [consultado de novembro de 2014 a fevereiro de 2015]
- APA, 15 de junho, 2014. ETAR de Água Longa. Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais, 8 pp.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 04 de dezembro, 2012. ETAR de Esposende. Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais, 7 pp.
- Agência Portuguesa do Ambiente, 24 de novembro, 2014. ETAR de Penices. Licença de Utilização dos Recursos Hídricos - Rejeição de Águas Residuais, 9 pp.
- Águas do Ave, S.A., 15 de novembro, 2004. ETAR de Água Longa - Projeto Base. Elaboração dos Projetos e Estudos para a construção das ETAR de Mosteiro, Santo Emilião, Água Longa e Penices, Volume 1, 84 pp.
- Águas do Ave, S.A., julho, 2007. Projeto de Execução do Processo – ETAR de Penices. Empreitada de Execução das ETAR de Mosteiro – FD1 Santo Emilião – FD2 Água Longa, FD7 E Penices, Volume 1, 85 pp.
- Azevedo, R. T., 2003. Excertos de Rita Teixeira d'Azevedo. Disponível em: <http://naturlink.sapo.pt/>. [consultado em dezembro 2014]
- Azevedo, R. T., 2009. Análise do Ciclo de Vida do Produto - instrumento de Gestão Ambiental. Disponível em: <http://naturlink.sapo.pt/>. [consultado em maio 2015]

- Berco, V., 2013. Tese de Mestrado: Análise Qualitativa de Lamas de ETAR e Competitividade Económica dos Processos de Tratamento e Escoamento, Caso da ETAR da Guia.
- Brito, L. M., 2003. Manual de compostagem. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 25 pp.
- Comissão Europeia, 2015. Disponível em: [http://ec.europa.eu/index\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/index_pt.htm). [consultado de janeiro a fevereiro de 2015]
- Comissão Europeia, 2001. Processos Extensivos de Tratamento de Águas Residuais. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 41 pp.
- Decisão da Comissão n.º 2000/532/CEE, de 3 de maio, 2000. Estabelece uma lista de resíduos. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 448/85, de 25 de novembro, 1985. Estabelece a responsabilização do detentor de resíduos pelo respetivo tratamento. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 446/91, de 22 de novembro, 1991. Relativo às condições de aplicação de lamas em solos cultivados. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 310/95, de 20 de novembro, 1995. Estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, 1997. Define os requisitos relativos aos sistemas de drenagem e tratamento das águas residuais. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 235/97, de 3 de setembro, 1997. Relativo à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de setembro, 1997. Rege as regras a que fica sujeita a gestão de resíduo. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, 1998. Estabelece as normas, critérios e objetivos de qualidade e, as normas de descarga das águas residuais na água e no solo. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de novembro, 1998. Relativo aos requisitos de descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Decreto-Lei n.º 53/99, de 20 de fevereiro, 1999. Relativo às normas de descarga de águas residuais na água ou no solo, os objetivos de qualidade, os métodos de

referência e o processo de controlo do cádmio. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 54/99, de 20 de fevereiro, 1999. Relativo às normas de descarga na água e no solo, os objetivos de qualidade, os métodos de referência e o processo de controlo do hexaclorociclohexano. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 56/99, de 26 de fevereiro, 1999. Estabelece os valores limite na fixação de normas de descarga na água e no solo e, os objetivos de qualidade para substâncias consideradas "perigosas". Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 429/99, de 15 de junho, 1999. Estabelece os valores limite de descarga das águas residuais, na água ou no solo, dos estabelecimentos industriais que procedam à produção de carbonato de sódio. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 261/99, de 7 de julho, 1999. Relativo a zonas menos sensíveis - águas costeiras. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 172/2001, de 26 de maio, 2001. Relativo à substituição da lista de identificação das zonas sensíveis e respetivo mapa. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de junho, 2004. Relativo às zonas sensíveis e zonas menos sensíveis e respetivos mapas. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de junho, 2006. Relativo à utilização de lamas de depuração em solos agrícolas. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro, 2009. Relativo ao procedimento de licenciamento da utilização agrícola das lamas de depuração

Despacho n.º 2339/2007, 14 de fevereiro, 2007. Relativo à aprovação do PEAASAR II. Diário da República Portuguesa, 2ª Série.

Despacho n.º 4385/2015, 30 de abril, 2015. Relativo à aprovação do PENSAAR 2020 — Uma nova estratégia para o setor de abastecimento de águas e saneamento de águas residuais. Diário da República Portuguesa, 2ª Série.

Diretiva do Conselho n.º 86/278/CEE, de 12 de junho, 1986. Regulamenta a utilização das lamas de depuração na agricultura. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Diretiva do Conselho n.º 91/271/CEE, de 21 de maio, 1991. Estabelece as implicações especiais sobre a produção de lamas. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

Diretiva do Conselho n.º 91/689/CEE, de 12 de dezembro, 1991. Relativa aos resíduos perigosos. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.

- Diretiva do Conselho n.º 1999/31/CEE, de 26 de abril, 1999. Regulamenta a deposição em aterro das lamas de depuração. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Dominique, J., 12 de junho, 2012. Manual de Instalação: Mesa de Espessamento Omega 25 SD. Documentos Administrativos. EMO s.a.s., Ingenierie du Traitement des Boues, 46 pp.
- DREFA, 06 de outubro, 2010. Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting. Department of Energy and Climate Change. AEA for the Department of Energy and Climate Change (DECC), Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), Versão 1.2.1 Final, 49 pp.
- Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos, 2015. Disponível em: <http://www.ersar.pt/website/>. [consultado de novembro de 2014 a fevereiro de 2015]
- ERSAR, setembro 2014. Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal 2013. 3. Avaliação da Qualidade do Serviço Prestado aos Utilizadores. ERSAR, Volume 3, 311 pp.
- ERSAR, 3 de fevereiro, 2015. A Maior Parte das Entidades Gestoras de Águas e Resíduos em Portugal não recupera ou desconhece o custo dos Serviços. Nota à Imprensa, 3 pp.
- Ferreira, J. V. R., 2004. Gestão Ambiental. Análise do Ciclo de Vida. Instituto Politécnico de Viseu, 80 pp.
- Florindo, F. M. L. R., 2009. Tese de Mestrado: Caracterização das Lama geradas e sua Valorização nos Subsistemas dos SMAS-Sintra, Delineamento de um Modelo Conceptual de Gestão.
- ISO, 15 de junho, 1997. ISO 14040. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Organization for Standardization, 1ª Edição, 12 pp.
- Inspecção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território, 2008. Gestão de Lamas de Depuração – Urbanas e de composição similar. Disponível em: <http://www.igaot.pt/wp-content/uploads/2010/02/Lamas.pdf>. [consultado em janeiro, 2015]
- INSAAR, julho 2011. Relatório do Estado do Abastecimento de Água e do Tratamento de Águas Residuais. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, I. P., INSAAR, Dados 2009, Campanha 2010, 228 pp.

- Limousin, S., janeiro, 2008. Powerdrain R Tambor de Espessamento. Manual de Instalação, Operação e Manutenção. Andritz, Environment and Process Technologies STI, Sistemas e Técnicas Industrias, Lda., Versão 1, 38 pp.
- Magalhães, M. e Bessa, A., 19 de março de 2012. Qualidade e Sustentabilidade dos Serviços de Abastecimento de Águas e Saneamento. Comissão do Ambiente, Ordenamento do Território e Poder Local, 21 pp.
- Metcalf e Eddy. 2003, 1. Wastewater Engineering - Treatment and Reuse. New York: International Edition: McGraw-Hill, 4ª Edição, 1818 pp.
- Milieu, Ltd, WRc e RPA, 2008. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report, Part I: Overview Report. Comissão Europeia, DG Ambiente, 16 pp.
- Milieu, Ltd, WRc e RPA, 2008. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. Final Report. Part II: Draft Summary Report 2, Baseline Scenario, Analysis of Risk and Opportunities. Comissão Europeia, DG Ambiente, 81 pp.
- Monteiro, J., Passos, M., 2013. Identificação e Avaliação de Aspetos Ambientais. Águas do Noroeste, S. A., 6 pp.
- Naturlink, 2009. Disponível em: <http://naturlink.sapo.pt/>. [consultado em novembro, 2014]
- PENSAAR 2020, maio 2014. Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável. Volume 1, Fase 1: Situação de Referência, Versão Preliminar, 105 pp.
- PENSAAR 2020, maio 2014. Uma Estratégia ao Serviço da População: Serviços de Qualidade a um Preço Sustentável. Volume 2, Fases 2, 3 e 4: Quadro Estratégico, Plano de Ação, Plano de Gestão, Versão Preliminar, 120 pp.
- Portaria n.º 335/97, de 16 de maio, 1997. Define as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos em território nacional. Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Portaria n.º 209/2004, de 3 de março, 2004. Relativa à aprovação da Lista Europeia de Resíduos (LER). Diário da República Portuguesa, 1ª Série.
- Sousa, R. J. V., 2005. Tese de Mestrado: Estratégias de Gestão de Lamas das Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Extrusão de Lamas para Aplicação na Agricultura.
- Turovskiy, I. S. e Mathai, P. K., 2006. Wastewater Sludge Processing. John Wiley e Sons, Inc, 354 pp.

# **ANEXOS**

## **ANEXO I**

Operações e processos unitários do tratamento de águas residuais

**Quadro I.1** – Operações unitárias do tratamento preliminar/pré-tratamento de águas residuais (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Operação Unitária	Descrição	Órgão de Operação
Gradagem	Constituído por um sistema de grelhas instalado num ou mais canais por onde circula a água residual. São removidos os sólidos grosseiros (como por exemplo rochas, plásticos, vidros, papeis, metais, latas, tecidos, folhas, ramos ou madeiras em geral, entre outros) com dimensões superiores à abertura das grades.	<p style="text-align: center;">Grade mecânica</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Água Longa</p>
Tamisação	Com o mesmo resultado que o sistema anterior, a tamisação apresenta uma maior eficiência de remoção uma vez que está associada a uma dimensão de malha mais fina que a gradagem, retendo os sólidos de menores dimensões. Deve por isso ser utilizada de forma complementar à gradagem.	<p style="text-align: center;">Tamisador</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Rabada</p>
Desarenamento	As areias e as partículas inertes são removidas do efluente através de, por exemplo, um tanque onde o efluente passa com uma velocidade de escoamento reduzida, permitindo que as areias assentem por gravidade, ou seja, depositam-se no fundo do desarenador sendo extraídas por meio de uma limpeza de fundo que pode ser manual ou mecânica. As operações de desarenamento e remoção de óleos e gorduras podem ser realizadas no mesmo órgão de operação (desarenadores/desengorduradores).	<p style="text-align: center;">Desarenador/Desengordurador</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Água Longa</p>
Homogeneização Equalização	As águas residuais são misturadas num tanque evitando assim variações de fluxos afluentes, garantindo um caudal regularizado e homogéneo. Pode não estar implementada em todas as ETAR.	<p style="text-align: center;">Bacia de Equalização</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Rabada</p>

**Quadro I.2** – Operações unitárias do tratamento primário de águas residuais (Fonte: adaptado de APA, 2008).

Operação Unitária	Descrição	Órgão de Operação
Decantação	<p>O objetivo principal é retirar os sólidos em suspensão decantáveis (por ação da gravidade). Num decantador, a água permanece o tempo necessário para que as partículas suspensas sedimentem no fundo e as escumas que se acumulam à superfície sejam removidas. Existem sistemas de decantação lamelar e decantação assistida onde através de coagulação e floculação são adicionados reagentes químicos fazendo aumentar a sua eficiência e permitindo uma redução da área de ocupação dos decantadores. Este tipo de órgãos pode ser de planta circular, quadrada ou retangular, enterrados ou semienterrados. A água clarificada passa para o tratamento secundário, enquanto as lamas primárias são recolhidas para posterior tratamento na fase sólida e as escumas são encaminhadas para o concentrador de gorduras do tratamento preliminar.</p>	<p style="text-align: center;">Decantador</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Água Longa</p>
Flotação	<p>Operação destinada a remover as gorduras e óleos existentes onde não é viável a sua separação por ação da gravidade, evitando assim a obstrução dos coletores e a aderência aos equipamentos. Consiste na injeção de um fluxo de ar ascendente no interior do tanque, onde as gorduras acumulam-se à superfície e são arrastadas, juntamente com as bolhas de ar para a superfície, sendo posteriormente recolhidas e encaminhadas ao destino final adequado.</p>	<p style="text-align: center;">Flotador</p>  <p style="text-align: center;">Fonte: ETAR de Rabada</p>

**Quadro I.3** – Processos unitários do tratamento secundário de águas residuais (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Processo Unitário	Descrição	Órgão de Operação
Lamas ativadas	<p>Massas biologicamente ativas que degradam a matéria orgânica e coloidal por ação de microrganismos aeróbios (à exceção das algas) que se desenvolvem em suspensão e em condições de agitação. O efluente entra num tanque de arejamento onde é feita uma injeção de oxigénio na água residual que vai permitir aos microrganismos degradarem os compostos orgânicos, convertendo-os em vários gases – processo conhecido como arejamento. A agitação vai permitir a dissolução e distribuição do oxigénio na água e a adição de oxigénio é importante não só na remoção de alguns poluentes como por exemplo o ferro, o manganês e o dióxido de carbono como também na oxidação química, eliminando compostos orgânicos resistentes aos processos biológicos. Obtendo a estabilização da matéria orgânica, o efluente é conduzido para a decantação secundária e, a partir daqui, uma parte da matéria orgânica segue a linha de tratamento e outra parte é recirculada para o tanque de arejamento.</p>	<p>Tanque de Arejamento</p>  <p>Fonte: ETAR de Água Longa</p>
Leitos percoladores	<p>Semelhante ao sistema anterior, aqui o efluente sai do decantador primário e entra num leito percolador de enchimento variável, ou seja, um distribuidor rotativo que vai criar um filme biológico cuja constituição são bactérias que decompõem a matéria orgânica. Neste caso a recirculação deve sempre ser efetuada a partir do efluente tratado do decantador secundário, uma vez que a matéria orgânica encontra-se diluída, evitando-se a colmatação do leito percolador.</p>	<p>Leito Percolador</p>  <p>Fonte: APA, 2008</p>
Biodiscos	<p>Também designados de discos biológicos, recorrem igualmente à degradação da matéria orgânica em filme fixo através de processos biológicos aeróbios, sendo a evolução dos leitos percoladores. Trata-se de um conjunto de filmes presos e paralelos, de espessura muito reduzida e com rugosidade de modo a permitir uma maior aderência dos microrganismos. Estes discos giratórios mergulham parcialmente na água residual e esse movimento garante que os microrganismos estão alternadamente em contacto como ar e com a matéria orgânica.</p>	<p>Biodiscos</p>  <p>Fonte: APA, 2008</p>
Lagunagem	<p>É o sistema que melhor se aproxima da realidade, ou seja, a água atravessa uma série de lagoas anaeróbias, facultativas e maturação para a remoção dos organismos patogénicos. Existe ainda uma combinação de lagunagem com lamas ativadas denominada lagoas arejadas. A vantagem deste sistema é a sua simplicidade e economia de construção e manutenção, contudo, estas técnicas implicam uma vasta área de implementação e está dependente de condições naturais, além da emissão de odores.</p>	<p>Lagoas</p>  <p>Fonte: APA, 2008</p>

**Quadro I.4** – Operações e processos unitários do tratamento terciário (Fonte: adaptado de Metcalf e Eddy, 2003).

Operação/Processo Unitário	Descrição	Órgão de Operação
Filtração	Processo físico responsável por remover os sólidos suspensos residuais, através de filtros de areia e/ou antracite.	 <p>Fonte: ETAR de Rabada</p>
Microfiltração	Processo físico responsável por remover os sólidos suspensos residuais, através de filtros metálicos rotativos.	 <p>Fonte: ETAR do Ave</p>
Cloragem	Reconhecido como o sistema de desinfecção mais usual e económico. Muito eficiente com as bactérias mas ineficaz na eliminação de vírus, onde os resíduos de cloragem permanecem na corrente filtrada promovendo naturalmente inconvenientes quer a nível ambiental como de saúde pública.	 <p>Fonte: ETAR de Apúlia</p>
Ozonização	Apresenta desvantagens semelhantes às descritas no processo anterior, embora o ozono não permaneça tanto tempo na água pode formar subprodutos contaminantes que mantêm no efluente.	 <p>Fonte: ETAR de Serzedo</p>
Radiação Ultravioleta (UV)	É a tecnologia mais recente e não produz quaisquer resíduos tóxicos, obtendo bons resultados na destruição de vírus e bactérias. É considerada a solução mais adequada para um tratamento terciário.	 <p>Fonte: ETAR de Rabada</p>

## **ANEXO II**

Enquadramento legal do tratamento de águas residuais

**Quadro II.1** – Quadro legal do tratamento de águas residuais (Fonte: adaptado de Diário da República).

Instrumento Legal	Data de publicação	Âmbito
Decreto-Lei n.º 448/85	25 de novembro de 1985	Primeiro instrumento legal em Portugal que define o quadro jurídico de gestão de resíduos que viria a ser revogado 10 anos mais tarde pelo DL n.º 310/95, de 20 de novembro. Este diploma responsabilizava o detentor dos resíduos, de qualquer natureza ou origem, de promover a sua recolha, armazenamento, transporte e eliminação ou a sua utilização de modo a não colocar em risco a saúde humana ou o meio ambiente.
Diretiva do Conselho n.º 86/278/CEE	12 de junho de 1986	Regulamenta a utilização de lamas de depuração na agricultura, por forma a evitar efeitos nocivos no homem, na água, nos solos, na vegetação e nos animais, promovendo a sua correta utilização.
Diretiva do Conselho n.º 91/271/CEE	21 de maio de 1991	Estabelece implicações especiais sobre a produção de lamas, impondo exigências cada vez mais rigorosas em relação ao tratamento de efluentes urbanos, proibindo a deposição de lamas em águas superficiais, a partir de 31 de dezembro de 1998. Transposta pelos diversos estados membros para Direito interno, sendo que no caso de Portugal foi feito através do DL n.º 152/97 de 19 de junho. Esta Diretiva viria a ser alterada pela Diretiva da Comissão n.º 98/15/CEE no que respeita a determinados requisitos para a descarga das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização.
Decreto-Lei n.º 446/91	22 de novembro de 1991	Transpõe para o direito interno a Diretiva do Conselho n.º 86/278/CEE, de 12 de junho, onde são fixadas as exigências referentes às condições de aplicação de lamas nos solos cultivados, nomeadamente o cumprimento de valores-limite de metais pesados presentes nas lamas e nos solos onde se pretende a sua aplicação e as quantidades máximas de metais pesados que, através das lamas, poderão aplicar-se anualmente nos solos com base na média de 10 anos (decretados pela Portaria n.º 176/96, de 3 de outubro, 2ª Série) e nas regras à análise das lamas e dos solos (definidas pela Portaria n.º 177/96, de 3 de outubro, 2ª Série)
Diretiva do Conselho n.º 91/689/CEE	12 de dezembro de 1991	Posteriormente alterada pela Diretiva do Conselho n.º 94/31/CEE, de 27 de junho, este instrumento faz referência aos resíduos perigosos onde se podem enquadrar as lamas de depuração, devido às suas características.
Decreto-Lei n.º 310/95	20 de novembro de 1995	Revogação do DL n.º 448/85, de 25 de novembro e transposição das Diretivas do Conselho n.º 91/156/CEE, de 18 de março, 91/689/CEE, de 12 de dezembro, onde são estabelecidas as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos, nomeadamente a sua recolha, armazenamento, transporte, tratamento, valorização e eliminação, de modo a não prejudicarem a saúde humana e os componentes ambientais (água, ar, solo, fauna, flora, paisagem e património natural e construído, definidos pela Lei n.º 11/87, de 7 de abril). Este diploma viria a ser revogado 2 anos mais tarde pelo DL n.º 239/97, de 9 de setembro.
Portaria n.º 335/97	16 de maio de 1997	Definição das regras a que fica sujeito o transporte de resíduos em território nacional; de acordo com o Despacho do Instituto dos Resíduos n.º 8943/97, de 9 de outubro, II Série, que identifica as guias a utilizar no transporte de resíduos.

Instrumento Legal	Data de publicação	Âmbito
Decreto-Lei n.º 152/97	19 de junho de 1997	Define os requisitos relativos aos sistemas de drenagem e tratamento das águas residuais. Em função da dimensão do aglomerado e da caracterização da zona de descarga, são definidos prazos para a criação de infraestruturas que tornem o tratamento das águas residuais mais exigente. É aprovada uma lista das zonas menos sensíveis e zonas mais sensíveis, assim como os respetivos mapas. Este diploma obriga à revisão da identificação das zonas sensíveis e das zonas menos sensíveis pelo menos de 4 em 4 anos foi, entretanto, alterado pelo DL n.º 348/98, de 9 de novembro.
Decreto-Lei n.º 235/97	3 de setembro de 1997	Transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 91/676/CEE, relativa à proteção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola. Visa estabelecer a redução da poluição das águas causada ou induzida por nitratos de origem agrícola, bem como impedir a propagação desta poluição. Neste diploma é feita referência ao Código de Boas Práticas Agrícolas (CBPA) e à utilização das lamas de depuração como corretivo orgânico, dada a sua importância como veiculadores de azoto.
Decreto-Lei n.º 239/97	9 de setembro de 1997	Rege as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos, onde são classificadas as diversas operações de gestão, sujeitando o seu exercício a uma autorização prévia após cumprimento de requisitos definidos pela Portaria n.º 961/98, de 10 de novembro. Foi posteriormente revogado pelo DL n.º 178/2006, de 5 de setembro (alterado pelo DL n.º 173/2008, de 26 de agosto, e pela Lei n.º 64-A/2008, de 31 de dezembro).
Decreto-Lei n.º 236/98	1 de agosto de 1998	Estabelece as normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Define também as normas de descarga das águas residuais na água e no solo, visando a promoção da qualidade do meio aquático e a proteção da saúde pública e dos solos.
Decreto-Lei n.º 348/98	9 de novembro de 1998	Transposição para a ordem jurídica nacional da Diretiva n.º 98/15/CEE. Veio alterar determinados requisitos estabelecidos no anexo I do DL n.º 152/97, de 19 de junho, no que respeita ao quadro n.º 2 dos requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas em zonas sensíveis sujeitas a eutrofização.
Decreto-Lei n.º 53/99	20 de fevereiro de 1999	Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 83/513/CEE, do Conselho, de 26 de setembro, e tem por objetivo fixar os valores limite a considerar na fixação das normas de descarga de águas residuais na água ou no solo, os objetivos de qualidade, os métodos de referência e o processo de controlo do cádmio, com vista a eliminar a poluição que esta substância pode provocar nesses meios.
Decreto-Lei n.º 54/99	20 de fevereiro de 1999	Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 84/491/CEE, do Conselho, de 9 de outubro, e tem por objetivo fixar os valores limite a considerar na fixação das normas de descarga na água e no solo, os objetivos de qualidade, os métodos de referência e o processo de controlo do hexaclorociclohexano (HCH), com vista a eliminar a poluição que pode provocar nesses meios.
Decreto-Lei n.º 56/99	26 de fevereiro de 1999	Transpõe para o direito interno a Diretiva n.º 86/280/CEE, do Conselho, de 12 de junho, e a Diretiva n.º 88/347/CEE, de 16 de junho, e tem como objetivo estabelecer os valores limite a considerar na fixação das normas de descarga na água e no solo, os objetivos de qualidade para certas substâncias consideradas "perigosas", os métodos de referência e o processo de controlo, com vista a eliminar ou reduzir a poluição que podem provocar nesses meios.

Instrumento Legal	Data de publicação	Âmbito
Diretiva do Conselho n.º 1999/31/CEE	26 de abril de 1999	Regulamentação a que está sujeita a deposição em aterro das lamas de depuração, prevendo as medidas, processos e orientações que evitem ou reduzam os efeitos negativos da deposição de resíduos em aterros.
Decreto-Lei n.º 429/99	15 de junho de 1999	Estabelece os valores limite de descarga das águas residuais, na água ou no solo, dos estabelecimentos industriais que procedam à produção de carbonato de sódio pelo processo "SOLVAY" ao amoníaco; produção de fibras acrílicas; anilina; fosfato dicálcico; sulfato de alumínio sólido; amoníaco por oxidação parcial; ureia; adubos nitro-amoniacais e adubos compostos.
Decreto-Lei n.º 261/99	7 de julho de 1999	Altera o DL n.º 152/97, de 19 de junho, com a redação que lhe foi dada pelo DL n.º 348/98, de 9 de novembro, substituindo o mapa constante do anexo II ao DL n.º 152/97, de 19 de junho, relativo a zonas menos sensíveis - águas costeiras.
Decisão da Comissão n.º 2000/532/CEE	3 de maio de 2000	Estabelece uma lista de resíduos, onde é atribuída às lamas de depuração a designação de resíduo, a que corresponde o código 19 08 05 - lamas de tratamento de águas residuais. Esta Decisão foi posteriormente alterada pela Decisão da Comissão n.º 2001/112/CE, de 16 de janeiro; Decisão da Comissão n.º 2001/119/CE, de 22 de janeiro e pela Decisão do Conselho n.º 2001/573/CE, de 23 de julho.
Decreto-Lei n.º 172/2001	26 de maio de 2001	Altera o DL n.º 152/97, de 19 de junho, com a redação que lhe foi dada pelo DL n.º 348/98, de 9 de novembro, substituindo a lista de identificação das zonas sensíveis e respetivo mapa, constantes do anexo II ao DL n.º 152/97, de 19 de junho.
Decreto-Lei n.º 149/2004	22 de junho de 2004	Revoga o DL n.º 261/99, de 7 de julho e o DL n.º 172/2001 de 26 de maio, definindo ambos os tipos de zonas e mapa respetivo.
Portaria n.º 209/2004	3 de março de 2004	É aprovada a lista harmonizada que abrange todos os resíduos, designada como Lista Europeia dos Resíduos (LER), em conformidade com a Decisão da Comissão n.º 2000/532/CEE, de 3 de maio.
Decreto-Lei n.º 118/2006	21 de junho de 2006	Altera o DL n.º 446/91 e aplica-se à utilização de lamas de depuração em solos agrícolas provenientes de ETAR domésticas, urbanas, de atividades agropecuárias, de fossas sépticas ou outras de composição similar.
Decreto-Lei n.º 276/2009	2 de outubro de 2009	Atualiza o DL n.º 118/2006 de modo a adequar e simplificar o procedimento de licenciamento da utilização agrícola das lamas de depuração nele previsto e harmonizá-lo com outros regimes jurídicos entretanto aprovados, nomeadamente o regime geral de resíduos (DL n.º 178/2006, de 5 de setembro) e o regime de proteção de albufeiras de águas públicas de serviço público e de lagoas de águas públicas (DL n.º 107/2009, de 15 de maio)

**ANEXO III**

Folha de registo de dados do período de amostragem

**IDENTIFICAÇÃO**

Infraestrutura: \_\_\_\_\_ Polímero: \_\_\_\_\_

Ensaio n.º: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

**ÁGUA DE LAVAGEM DO ESPESSADOR**

Largura: \_\_\_\_\_ Comprimento: \_\_\_\_\_

Área: \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_

Altura inicial: \_\_\_\_\_ Altura final: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_

Volume: \_\_\_\_\_

**CUBA DE POLÍMERO**

Largura: \_\_\_\_\_ Comprimento: \_\_\_\_\_

Área: \_\_\_\_\_

**CAUDAL DE POLÍMERO À SAÍDA DO POLIPACK**

Altura inicial: \_\_\_\_\_ Altura final: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_

Volume: \_\_\_\_\_

Caudal: \_\_\_\_\_

**CAUDAL DE ÁGUA À ENTRADA DO POLIPACK**

Altura inicial: \_\_\_\_\_ Altura final: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_ Tempo: \_\_\_\_\_

Volume: \_\_\_\_\_

Caudal: \_\_\_\_\_

**DOSEAMENTO DE POLÍMERO**

Índice: \_\_\_\_\_ N.º arranque: \_\_\_\_\_

Tempo: \_\_\_\_\_ Tempo ON: \_\_\_\_\_ Tempo OFF: \_\_\_\_\_

Altura: \_\_\_\_\_ Volume: \_\_\_\_\_

Pesagens: \_\_\_\_\_

Concentração: \_\_\_\_\_

LAMAS			POLÍMERO			
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Lamas extraídas espessamento (m <sup>3</sup> /d)	Lamas à desidratação (m <sup>3</sup> /d)	nº Horas de funcionamento floculador (h)	Bomba polímero (h)		nº Horas funcionamento do polipack (h)
				Bomba 1	Bomba 2	

ENERGIA						
Consumo das bombas do espessador (kw/h)		Consumo do espessador (kw/h)	Consumo do floculador (kw/h)	Consumo das bombas de polímero (kw/h)		Consumo do Polipack (kw/h)
Bomba 1	Bomba 2			Bomba 1	Bomba 2	

ESPESSADOR		
Bombas - Espessador (h)		nº Horas de funcionamento (h)
Bomba 1	Bomba 2	

## **ANEXO IV**

Horários e preços das tarifas de energia estabelecidos pela EDP

**Quadro IV.1** – Horários estabelecidos pela EDP (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

<b>Horário INVERNO</b>	
Semana	
00:00	V
01:59	
02:00	S
05:59	
06:00	V
06:59	
07:00	C
09:29	
09:30	P
11:59	
12:00	C
18:29	
18:30	P
20:59	
21:00	C
23:59	

S: Super Vazio; V: Vazio; C: Cheia; P: Ponta

**Quadro IV.2** – Tabela de preços da energia definidos pela EDP 2015 (Fonte: Águas do Noroeste, 2015).

<b>Descrição</b>	<b>Média Tensão (MT)</b>			
	Energia Ativa Ponta	Energia Ativa Cheia	Energia ativa Vazio	Energia Ativa Super Vazio
Tarifa da melhor proposta (€/kWh)	0,065884	0,060172	0,049057	0,038662
<b>Tarifa de acesso às redes em MT</b>			<b>Preços</b>	
Energia ativa	<b>Período I</b> (out. a dez.)	(EUR/kWh)		
		Horas de ponta	0,0432	
	<b>Período IV</b> (jan. a mar.)	Horas cheias	0,0374	
		Horas de vazio normal	0,0206	
		Horas de super vazio	0,0198	

## **ANEXO V**

Identificação e avaliação da significância de aspetos ambientais

**Quadro V.1** – Critérios de avaliação da significância de aspetos ambientais.

Critérios de Avaliação	Descrição	Valor da Significância
Âmbito	<b>Local</b> - Ao nível da instalação	1
	<b>Regional</b> - Freguesia, Concelho, Distrito ou Bacia Hidrográfica	2
	<b>Nacional</b> - País físico ou político (ex. estratégia nacional)	3
	<b>Global</b> - Europa, mundo físico ou político (ex. Tratados)	4
Gravidade - Consumo de recursos	<b>Reduzido</b> - Consumo de energias renováveis	1
	<b>Normal</b> - Consumo de recursos não renováveis com possibilidade de valorização/reutilização interna ou de utilização eficiente (só é consumida a quantidade necessária à atividade, não existindo perdas ou ocorrendo perdas sem significado)	2
	<b>Grave</b> - Consumo de recursos escassos e não renováveis sem possibilidade de valorização/reutilização interna ou de utilização ineficiente (não é quantificada a quantidade necessária para a atividade e poderá haver perdas, sem medida de controlo definida)	3
	<b>Muito Grave</b> - Consumo de recursos sem qualquer controlo (sem registo de consumos, definição de metodologias, etc.)	4
Gravidade - Resíduos	<b>Reduzido</b> - Não perigosos valorizados	1
	<b>Normal</b> - Não perigosos eliminados	2
	<b>Grave</b> - Perigosos valorizados	3
	<b>Muito Grave</b> - Perigosos eliminados	4
Gravidade - Ruído	<b>Reduzido</b> - Gerado em zona isolada (sem habitações)	1
	<b>Normal</b> - Gerado em zona com habitações e com vias de tráfego (rodoviário e ferroviário) e indústrias	2
	<b>Grave</b> - Gerado em zona habitacional com vias rodoviárias e ferroviárias	3
	<b>Muito Grave</b> - Gerado em zona habitacional/existência de reclamações associadas	4
Gravidade - Efluentes Líquidos e Gasosos	<b>Reduzido</b> - Odores não detetáveis nas instalações	1
	<b>Normal</b> - Odores detetáveis centros das instalações mas com pouca intensidade	2
	<b>Grave</b> - Odores detetáveis com alguma intensidade, dentro e fora das instalações	3
	<b>Muito Grave</b> - Odores fortemente detetáveis nas áreas circundantes à instalação e com reclamações associadas por parte da população	4
Frequência	<b>Baixa</b> - Esporádica/ Anual/ Semestral	1
	<b>Média</b> - Poucas vezes/ Mensal/ Quinzenal	2
	<b>Alta</b> - Semanal/ Diário	3
	<b>Muito Alta</b> - Contínuo (funcionamento superior a 12h/dia)	4
Quantidade	Insignificante	1
	Pequena	2
	Bastante	3
	Elevada	4
Condições de Controlo	<b>Alto</b> - Os meios existentes são suficientes no controlo do Impacte gerado pelo AA	1
	<b>Médio</b> - Existem meios para o controlo do impacte gerado pelo AA, no entanto pode ser realizadas melhorias	2
	<b>Baixo</b> - Os meios existentes não são suficientes para o controlo do impacte gerado pelo AA	3
	<b>Reduzido</b> - Inexistência de meios para o controlo do impacte gerado pelo AA	4

**Quadro V.2** – Escala de significância de aspetos ambientais.

Significância do Aspeto Ambiental (SAA)	
<b>SIGNIFICATIVO</b> $44 \geq SAA \leq 128$	Aspeto ambiental não controlado cujo impacte no ambiente é considerável e permanente. Requer a implementação e monitorização de medidas de minimização e controlo. No caso das situações de emergência, devem ser adotadas medidas de controlo, acompanhadas por exercícios de simulação e formação dos colaboradores para comprovar a eficácia das mesmas.
<b>NÃO SIGNIFICATIVO</b> $2 \geq SAA \leq 44$	Aspeto ambiental controlado cujo impacte não é significativo.

**Quadro V.3 – Matriz de identificação e avaliação de aspetos ambientais dos casos de estudo.**

Descritor	AA	Descrição	Unidades	Critérios de avaliação de AA					Impacte Ambiental	Significância do AA
				Âmbito	Gravidade	Frequência	Quantidade	Condições de Controlo		
Água	Consumo de água na lavagem do espessador	Total de água tratada reutilizada (ATR)	m <sup>3</sup> ATR/ano	1	2	3	3	1	Depleção de recursos naturais/ poluição atmosférica/ emissão de GEE	11
		Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> lama espessada							
		Consumo específico de água tratada reutilizada por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> ATR/m <sup>3</sup> AR tratada							
	Consumo de água na preparação do polímero	Total de água captada no furo/poço	m <sup>3</sup> /ano	3	2	3	3	1		15
		Consumo específico de água de furo/poço por volume de lama espessada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> lama espessada							
		Consumo específico de água de furo/poço por volume de água residual (AR) tratada	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> AR tratada							
Consumíveis	Consumo de reagente	Consumo de polímero	kg/ano	1	2	3	3	1	Consumo de recursos	11
		Consumo específico de polímero por volume de lama espessada	kg/m <sup>3</sup> lamas espessadas							
		Consumo específico por tonelada de matéria seca	kg/ton MS							
		Consumo específico de polímero por volume de água residual (AR) tratada	kg/m <sup>3</sup> AR tratada							
Resíduos	Produção de resíduos não perigosos	Lamas à entrada do espessador	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano	3	1	3	4	1	Alteração da qualidade do solo/ Contaminação dos recursos hídricos/ Impacte na fauna, flora e saúde pública	15
		Lamas espessadas	ton/ano; m <sup>3</sup> /ano							
		Resíduos de embalagem (plástico)	n.º unidades/ano							
	Produção de resíduos perigosos	Resíduos de manutenção (óleos, substituição de peças, etc.)	kg/ano	3	4	1	2	1		14
Energia	Consumo de recursos	Consumo de energia elétrica	kWh/ano	3	2	3	3	2	Depleção de recursos naturais/ poluição atmosférica/ emissão de GEE	30
		Eficiência energética	kWh/m <sup>3</sup> lama espessada							
Ar	Emissões atmosféricas	Gases com Efeito de Estufa (GEE)	ton CO <sub>2</sub> /ano	1	2	3	1	1	Incomodidade na vizinhança	5
		Odores	Sem unidade							

## **ANEXO VI**

Número de horas de funcionamento

**Quadro VI.1** – Número de horas de funcionamento do sistema do produto definido para as ETAR em estudo.

ETAR Esposende						
Conversão da tarifa/horário: P – 2,5 h e C – 4,5 h						
Data do ensaio	Espessador		Polipack		Sistema de Bombagem	
					Bomba Rifloc 9175	
1º dia	7		7		7	
2º dia	7		7		7	
3º dia	7		7		7	
<b>Média</b>	<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>	
ETAR Água Longa						
Conversão da tarifa/horário: P - 1,44 h e C - 2,56 h						
Data do ensaio	Espessador	Floculador	Polipack 1167V	Polipack C38V	Sistema de Bombagem	
					Bomba 1167V	Bomba C38V
12/03/2015	7	7	7	7	7	6
13/03/2015	3,5	3,5	3,5	3,5	3	3
17/03/2015	5,5	5,5	5,5	5,5	2	4
<b>Média</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
ETAR Penices						
Conversão da tarifa/horário: P - 1,08 h e C - 1,92 h						
Data do ensaio	Espessador	Floculador	Polipack C20V	Sistema de Bombagem		
				Bomba C20V		
26/02/2015	7	7	7	3		
27/02/2015	5,5	5,5	5,5	3		
10/03/2015	7	7	7	3		
<b>Média</b>	<b>6,5</b>	<b>6,5</b>	<b>6,5</b>	<b>3</b>		

## **ANEXO VII**

Caudal de lamas de depuração

**Quadro VII.1 – Caudal de lamas de depuração medido no período de amostragem.**

ETAR Esposende						
Caudal à entrada da mesa						
		Unidade	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média
Dados base	Raio	m	1,2	1,2	-	<b>1,2</b>
	Área	m <sup>2</sup>	4,5	4,5	-	<b>4,5</b>
Medição	Tempo	min	6	6	-	6
	Altura (cheio)	m	1,46	1,49	-	<b>1,5</b>
	Altura (vazio)	m	2,08	2,12	-	<b>2,1</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	2,80	2,85	-	<b>2,83</b>
Caudal		m <sup>3</sup> /h	29	30	-	<b>29</b>
Caudal à saída da mesa						
Dados base	Largura	m	5	5	-	<b>5</b>
	Comprimento	m	5	5	-	<b>5</b>
	Área	m <sup>2</sup>	25	25	-	<b>25</b>
Medição	Tempo	h	2	2	-	2,0
	Altura inicial	m	2,12	1,56	-	<b>1,8</b>
	Altura final	m	1,56	0,92	-	<b>1,2</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	14	16	-	<b>15</b>
Caudal		m <sup>3</sup> /h	7	8	-	<b>7,5</b>
ETAR Água Longa						
		Unidade	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média
Caudal à entrada do espessador		m <sup>3</sup> /4h	149	228	195	<b>191</b>
		m <sup>3</sup> /d	261	399	341	<b>334</b>
Caudal à saída do espessador		m <sup>3</sup> /4h	26	70	61	<b>52</b>
		m <sup>3</sup> /d	46	123	107	<b>92</b>
Caudal		m <sup>3</sup> /h				<b>13,08</b>
ETAR Penices						
		Unidade	1º Ensaio	2º Ensaio	3º Ensaio	Média
Caudal à entrada do espessador		m <sup>3</sup> /3h	66	62	47	<b>58</b>
		m <sup>3</sup> /d	154	145	110	<b>136</b>
Caudal à saída do espessador		m <sup>3</sup> /3h	15	20	23	<b>19</b>
		m <sup>3</sup> /d	35	47	54	<b>45</b>
Caudal		m <sup>3</sup> /h				<b>6,44</b>

## **ANEXO VIII**

Preparação de reagente: consumos e custo associados

**Quadro VIII.1 – ETAR de Esposende.**

<b>POLIPACK</b>						
<b>Dimensão da cuba</b>		<b>Unidade</b>	<b>1º Ensaio</b>	<b>2º Ensaio</b>	<b>3º Ensaio</b>	<b>Média</b>
Dados base	Largura	m	0,5	0,5	0,5	<b>0,5</b>
	Comprimento	m	1	1	1	<b>1</b>
	Área	m <sup>2</sup>	0,50	0,50	0,50	<b>0,50</b>
<b>Caudal de água à entrada</b>						
Medição	Altura (cheia)	m	0,15	0,15	0,15	<b>0,15</b>
	Altura (vazia)	m	0,31	0,305	0,31	<b>0,31</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,08	0,08	0,08	<b>0,08</b>
	Tempo	min	4,22	4,167	4,2	<b>4</b>
	Caudal	L/h	1137	1116	1143	<b>1132</b>
<b>Doseamento de polímero Rifloc 9175</b>						
Dados base	Índice	unidade	-	-	-	<b>-</b>
	N.º arranque	unidade	1	1	1	<b>1</b>
	Tempo ON	s/min	4,22	4,167	4,2	<b>4</b>
	Total	s/h	253,2	250,02	252	<b>251,74</b>
	Tempo	min	1	1	1	<b>1</b>
Medição	Pesagens	g	55	54	54	<b>54,3</b>
	Pesagem da Preparação	g	232,10	225,02	226,80	<b>227,97</b>
	Volume	L	80	78	80	<b>79</b>
	Concentração	g/L	2,90	2,90	2,84	<b>2,88</b>
<b>Caudal de polímero à saída</b>						
Medição	Altura (cheia)	m	0,15	0,15	0,15	<b>0,15</b>
	Altura (vazia)	m	0,31	0,305	0,31	<b>0,31</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,08	0,08	0,08	<b>0,08</b>
	Tempo	min	10	10	10	<b>10</b>
	Caudal	L/h	480	465	480	<b>475</b>
<b>Custo do polímero</b>						
			Quantidade		Unidade	
Preparação		1	227,97		g	
		42	9575		g/d	
			9,57		kg/d	
Preço	€/kg	3,567	34,15		€/d	
			8709		€/ano	

**Quadro VIII.2 – ETAR de Água Longa.**

<b>POLIPACK</b>						
<b>Dimensão da cuba</b>		<b>Unidade</b>	<b>1º Ensaio</b>	<b>2º Ensaio</b>	<b>3º Ensaio</b>	<b>Média</b>
Dados base 1167 V	Largura	m	0,405	0,405	0,405	<b>0,405</b>
	Comprimento	m	0,98	0,98	0,98	<b>0,98</b>
	Área	m <sup>2</sup>	0,40	0,40	0,40	<b>0,40</b>
Dados base C 38 V	Largura	m	0,56	0,56	0,56	<b>0,56</b>
	Comprimento	m	0,985	0,985	0,985	<b>0,985</b>
	Área	m <sup>2</sup>	0,55	0,55	0,55	<b>0,55</b>
<b>Caudal de água à entrada</b>						
Medição 1167 V	Altura (cheia)	m	0,225	0,23	0,23	<b>0,23</b>
	Altura (vazia)	m	0,485	0,49	0,49	<b>0,49</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,10	0,10	0,10	<b>0,10</b>
	Tempo	min	2,8333	2,8333	2,9	<b>2,86</b>
	Caudal	L/h	2185	2185	2135	<b>2169</b>
Medição C 38 V	Altura (cheia)	m	0,3	0,3	0,3	<b>0,30</b>
	Altura (vazia)	m	0,52	0,52	0,515	<b>0,52</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,12	0,12	0,12	<b>0,12</b>
	Tempo	min	2,5833	2,5666	2,5	<b>2,55</b>
	Caudal	L/h	2819	2837	2846	<b>2834</b>
<b>Doseamento de polímero</b>						
Dados base 1167 V	Índice	unidade	7	7	7	<b>7</b>
	N.º arranque	unidade	2	2	2	<b>2</b>
	Tempo ON	s/min	22	22	22	<b>22</b>
	Total	s/h	1320	1320	1320	<b>1320</b>
	Tempo OFF	s/min	66	66	66	<b>66</b>
	Tempo	min	2,83	2,83	2,9	<b>3</b>
Medição 1167 V	Altura	m	0,26	0,26	0,26	<b>0,26</b>
	Volume	L	103	103	103	<b>103</b>
	Pesagens	g	199	198	201	<b>199</b>
	Concentração	g/L	1,93	1,92	1,95	<b>1,93</b>
Dados base C 38 V	Índice	unidade	11	11	11	<b>11</b>
	N.º arranques	unidade	3	3	3	<b>3</b>
	Tempo ON	s/min	23	23	23	<b>23</b>
	Total	s/h	1380	1380	1380	<b>1380</b>
	Tempo OFF	s/min	37	37	37	<b>37</b>
	Tempo	min	2,58	2,57	2,5	<b>3</b>
Medição C 38 V	Altura	m	0,22	0,22	0,215	<b>0,22</b>
	Volume	L	121	121	119	<b>120</b>
	Pesagens	g	326	332	327	<b>328</b>
	Concentração	g/L	2,69	2,74	2,76	<b>2,73</b>
<b>Caudal de polímero à saída</b>						
Medição 1167 V	Altura (cheia)	m	0,245	0,24	0,24	<b>0,24</b>
	Altura (vazia)	m	0,465	0,46	0,46	<b>0,46</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,09	0,09	0,09	<b>0,09</b>
	Tempo	min	8	8	8	<b>8</b>
	Caudal	L/h	655	655	655	<b>655</b>
Medição C 38 V	Altura (cheia)	m	0,325	0,3	0,3	<b>0,31</b>
	Altura (vazia)	m	0,49	0,465	0,47	<b>0,48</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,09	0,09	0,09	<b>0,09</b>
	Tempo	min	8	8	8	<b>8</b>
	Caudal	L/h	683	683	703	<b>690</b>

Custo do polímero				
			Quantidade	Unidade
Preparação	1167 V	1	199	g
		46	9154,0	g/d
			9,15	
Preço	€/kg	3,63	33,23	€/d
			8473	€/ano
Preparação	C 38 V	1	328	g
		40	13120	g/d
			13,12	
Preço	€/kg	3,06	40,15	€/d
			10238	€/ano

**Quadro VIII.3 - ETAR de Penices.**

<b>POLIPACK</b>						
<b>Dimensão da cuba</b>		<b>Unidade</b>	<b>1º Ensaio</b>	<b>2º Ensaio</b>	<b>3º Ensaio</b>	<b>Média</b>
Dados base	Largura	m	0,56	0,56	0,56	<b>0,56</b>
	Comprimento	m	0,985	0,985	0,985	<b>0,985</b>
	Área	m <sup>2</sup>	0,55	0,55	0,55	<b>0,55</b>
<b>Caudal de água à entrada</b>						
Medição	Altura (cheia)	m	0,33	0,335	0,325	<b>0,33</b>
	Altura (vazia)	m	0,645	0,635	0,64	<b>0,64</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,17	0,17	0,17	<b>0,17</b>
	Tempo	min	3,3333	3,3333	3,5	<b>3</b>
	Caudal	L/h	3128	2979	2979	<b>3028</b>
<b>Doseamento de polímero C 20 V</b>						
Dados base	Índice	unidade	14	14	14	<b>14</b>
	N.º arranques	unidade	5	5	5	<b>5</b>
	Tempo ON	s/min	23	22	22	<b>22</b>
	Total	s/h	1380	1320	1320	<b>1340</b>
	Tempo OFF	s/min	25	26	26	<b>26</b>
	Tempo	min	3,3	3,3	3,5	<b>3</b>
Medição	Altura	m	0,315	0,3	0,315	<b>0,31</b>
	Volume	L	174	165	174	<b>171</b>
	Pesagens	g	405	418	443	<b>422</b>
	Concentração	g/L	2,33	2,53	2,55	<b>2,47</b>
<b>Caudal de polímero à saída</b>						
Medição	Altura (cheia)	m	0,255	0,34	0,325	<b>0,31</b>
	Altura (vazia)	m	0,385	0,475	0,485	<b>0,45</b>
	Volume	m <sup>3</sup>	0,07	0,07	0,09	<b>0,08</b>
	Tempo	min	20	20	20	<b>20</b>
	Caudal	L/h	215	223	265	<b>234</b>
<b>Custo do polímero</b>						
			<b>Quantidade</b>		<b>Unidades</b>	
Preparação		1	422		g	
		10	4050		g/d	
			4,05		kg/d	
Preço	€/kg	3,06	12,39		€/d	
			3160		€/ano	

## **ANEXO IX**

Consumo de água tratada reutilizada

**Quadro IX.1** – Consumo de água tratada reutilizada na lavagem nos espessadores.

ETAR Esposende				
Dimensão do reservatório		Unidade	Ensaio	
Dados base	Raio	m	1	
	Altura	m	2,5	
	Área	m <sup>2</sup>	3,14	
Pressão	8 a 10	bar	Fuga	Mesa + Fuga
Altura (cheio)		m	0,51	0,5
Altura (vazio)		m	0,69	1,295
Tempo		min	15	15
Total			0,18	0,795
Medição	Altura (M+F)	m	0,795	
	Altura (F)	m	0,18	
	Tempo	min	15	
	Volume	m <sup>3</sup>	1,93	
	<b>Caudal</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>7,72</b>	
Caudal definido pelo fabricante		m <sup>3</sup> /h	7,5	
ETAR Água Longa				
Dimensão do reservatório		Unidade	Ensaio	
Dados base	Largura	m	1,6	
	Comprimento	m	2,4	
	Área	m <sup>2</sup>	3,84	
Pressão		bar	6 a 7	
Medição	Altura (cheio)	m	0,94	
	Altura (vazio)	m	1,44	
	Tempo	min	20	
	Volume	m <sup>3</sup>	1,92	
	<b>Caudal</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>5,76</b>	
Caudal definido pelo fabricante		m <sup>3</sup> /h	2,0	
ETAR Penices				
Dimensão do reservatório		Unidade	Ensaio	
Dados base	Largura	m	1,8	
	Comprimento	m	3,4	
	Área	m <sup>2</sup>	6,12	
Pressão		bar	5,5 a 7	
Medição	Altura (cheio)	m	1,215	
	Altura (vazio)	m	1,54	
	Tempo	min	20	
	Volume	m <sup>3</sup>	1,99	
	<b>Caudal</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>5,97</b>	
Caudal definido pelo fabricante		m <sup>3</sup> /h	2,0	

## **ANEXO X**

Consumo energético e custo associado

**Quadro X.1 – ETAR de Esposende.**

Consumo											
	Unidade	Espessador	Polipack				Sistema Bombagem - Polipack	Bomba água à mesa	Bomba água de poço	Bomba água tratada reutilizada	<b>TOTAL</b>
			TOTAL	Agitador 1	Agitador 2	Doseador	Bomba Rifloc 9175				
Intensidade	A	5,8	20	1,2	0,7	0,7	0,9	2,4	7,6	11,8	
Tensão	V	236	236	236	236	236	236	236	236	236	
Fase		3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Potência</b>	kWh	2,37	8,18	0,49	0,29	0,29	0,37	0,98	3,11	4,82	<b>19,83</b>
Definido pelo fabricante	kWh	1,1									
Custo											
Energia Ponta	€/kWh	0,2586	0,8918				0,0401	0,1070	0,3389	0,5262	2,16
	€/kWh.d	0,6465	2,2295				0,1003	0,2675	0,8472	1,3154	5,41
Energia Cheia	€/kWh	0,2313	0,7977				0,0359	0,0957	0,0359	0,4706	1,67
	€/kWh.d	1,0410	3,5896				0,1615	0,4307	0,1615	2,1178	7,50
<b>TOTAL</b>	€/kWh.d	1,6875	5,8190				0,2619	0,6983	1,0087	3,4332	<b>12,91</b>

**Quadro X.2 – ETAR de Água Longa.**

Consumo																
	Unidade	Espessador	Floculador	Polipack 1167 V				Polipack C 38 V				Sistema Bombagem - Polipack		Bomba água de furo	Bomba água tratada reutilizada	TOTAL
				TOTAL	Agitador 1	Agitador 2	Doseador	TOTAL	Agitador 1	Agitador 2	Doseador	Bomba 1167 V	Bomba C 38 V			
Intensidade	A	2,4	1,4	2,3	0,8	0,8	0,8	2,3	0,7	1	0,6	1,2	1,5	5,2	6,7	
Tensão	V	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	
Fase		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Potência</b>	kWh	0,95	0,55	0,91	0,32	0,32	0,32	0,91	0,28	0,39	0,24	0,47	0,59	2,05	2,65	<b>9,08</b>
Definido pelo fabricante	kWh	1,1														
Custo																
Energia Ponta	€/kWh	0,1034	0,0603	0,0991				0,0991				0,0517	0,0646	0,2240	0,2886	0,99
	€/kWh.d	0,2585	0,1508	0,2477				0,2477				0,0744	0,0930	0,5600	0,7216	2,35
Energia Cheia	€/kWh	0,0925	0,0539	0,0886				0,0886				0,0462	0,0578	0,2004	0,2582	0,89
	€/kWh.d	0,4161	0,2428	0,3988				0,3988				0,1184	0,1480	0,9016	1,1617	3,79
<b>TOTAL</b>	€/kWh.d	0,6746	0,3935	0,6465				0,6465				0,1928	0,2410	1,4617	1,8833	<b>6,14</b>

**Quadro X.3 – ETAR de Penices.**

Consumo											
	Unidade	Espessador	Floculador	Polipack C 20 V				Sistema Bombagem - Polipack	Bomba água de furo	Bomba água tratada reutilizada	TOTAL
				TOTAL	Agitador 1	Agitador 2	Doseador	Bomba C 20 V			
Intensidade	A	2,6	1,7	2,6	0,57	0,57	0,5	1	8,6	5,7	
Tensão	V	236	236	236	236	236	236	236	236	236	
Fase		3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Potência</b>	kWh	1,06	0,69	1,06	0,23	0,23	0,20	0,41	3,52	2,33	<b>9,07</b>
Definido pelo fabricante	kWh	1,1									
Custo											
Energia Ponta	€/kWh	0,1159	0,0758	0,1159				0,0446	0,3835	0,2542	0,99
	€/kWh.d	0,2898	0,1895	0,2898				0,0482	0,9587	0,6354	2,41
Energia Cheia	€/kWh	0,1037	0,0678	0,1037				0,0399	0,0399	0,2273	0,58
	€/kWh.d	0,4666	0,3051	0,4666				0,0766	0,1795	1,0230	2,52
<b>TOTAL</b>	€/kWh.d	0,7565	0,4946	0,7565				0,1247	1,1382	1,6584	<b>4,93</b>

## **ANEXO XI**

Concentração de sólidos nas lamas de depuração

**Quadro XI.1** – Concentração de sólidos nas lamas de depuração das ETAR em estudo.

	<b>Unidade</b>	<b>1º Ensaio</b>	<b>2º Ensaio</b>	<b>3º Ensaio</b>	<b>Média</b>
<b>ETAR de Esposende</b>					
MS das lamas à entrada	%	1,15	1,16	1,22	<b>1,18</b>
MS nas lamas espessadas	%	5,15	3,85	3,87	<b>4,29</b>
SST nas escorrências	mg/L	105	179	70	<b>118</b>
<b>ETAR de Água Longa</b>					
SST das lamas à entrada	mg/L	6321	5088	5185	<b>5531</b>
MS das lamas à entrada	%	0,63	0,51	0,52	<b>0,55</b>
MS nas lamas espessadas	%	3,05	3,41	4,36	<b>3,61</b>
SST nas escorrências	mg/L	950	675	363	<b>663</b>
<b>ETAR de Penices</b>					
SST das lamas à entrada	mg/L	9806	10973	10164	<b>10314</b>
MS das lamas à entrada	%	0,98	1,10	1,02	<b>1,03</b>
MS nas lamas espessadas	%	2,45	3,4	2,65	<b>2,83</b>
SST nas escorrências	mg/L	248	2050	4094	<b>2131</b>