



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Nuno Alexandre de Jesus Graça

VIAS DE VALORIZAÇÃO DAS LAMAS DE DEPURAÇÃO DE UMA DESTILARIA

Relatório de Estágio

Orientado por:

Doutor Henrique Pinho – Instituto Politécnico de Tomar
Doutor Fernando Reis – Sociedade Lusitana de Destilação

Relatório de Estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção
do grau de Mestre em Tecnologia Química

“... if the society toward which we are developing is not to be a nightmare of exhaustion, we must use the interlude of the present era to develop a new technology which is based on a circular flow of materials such that the only sources of man's provisions will be his own waste products.”

Kenneth E. Boulding

RESUMO

O estágio realizado teve como objetivos o contacto com a indústria, a compreensão dos processos produtivos da Sociedade Lusitana de Destilação (SLD), bem como a elaboração de um breve estudo sobre as possíveis vias de valorização das lamas de depuração geradas na referida empresa. Para o efeito, numa primeira fase procedeu-se ao acompanhamento da operação das várias secções da fábrica, e numa segunda fase à pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão, identificando aspetos técnicos, legais e estatísticos. A correta gestão deste material, baseada numa legislação que garanta a proteção do ambiente e da saúde pública, é atualmente um desafio extremamente importante a nível nacional e europeu. Por forma a encaminhar as lamas para o destino final mais apropriado, é crucial ter conhecimento das características destas, que por sua vez dependem da composição do efluente tratado, da tecnologia aplicada e da fase da ETAR em que foram geradas. A aplicação em solos agrícolas é atualmente a opção mais interessante devido aos potenciais benefícios, não só em termos de fertilização, mas também por poder melhorar as propriedades físicas desses solos, bem como em termos económicos para as empresas que produzam lamas com valores reduzidos de poluentes. Assim sendo, esta via de valorização constitui uma excelente oportunidade para a SLD, uma vez que as lamas obtidas contêm valores reduzidos de metais pesados.

Palavras-chave: destilaria, subprodutos v\u00ednicos, \u00e1guas residuais, lamas de depura\u00e7\u00e3o, sustentabilidade

ABSTRACT

The objectives of the internship were to contact with industry, to understand the production processes of the Sociedade Lusitana de Destilação (SLD) and to prepare a brief study on the possible ways of valorization of the sewage sludge generated by this company. For this purpose, the first phase involved monitoring the operation of the various sections of the factory, and in the second phase bibliographic research was carried out on the subject in question, identifying technical, legal and statistical aspects. The proper management of this material, based on legislation which is designed to guarantee protection for the environment and public health, is currently an extremely important challenge at national and European level. In order to route the sludge to the most appropriate final destination it is essential to have an understanding of its characteristics which, in turn, depend on the composition of the treated effluent, the technology used and the phase of the Wastewater Treatment Plant where it was generated. Application to agricultural soils is currently the most interesting option due to the potential benefits, not only in terms of fertilization but also in terms of improvement to the physical properties of these soils, as well as in economic terms for the companies that produce sludge with a reduced amount of pollutants. This valorization route, therefore, constitutes an excellent opportunity for the SLD, since the sludge obtained contains a reduced amount of heavy metals.

Keywords: distillery, wine by-products, wastewater, sewage sludge, sustainability

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o contributo de algumas pessoas e entidades, a quem desejo manifestar o meu profundo agradecimento:

Ao Instituto Politécnico de Tomar, e em particular à Diretora do Mestrado em Tecnologia Química, a Doutora Dina Mateus, pela oportunidade de estágio que me proporcionaram.

Ao Doutor Fernando Reis, atual Presidente da Sociedade Lusitana de Destilação, pela oportunidade de estágio que me proporcionou e pelo interesse demonstrado na minha aprendizagem.

Ao meu orientador, o Doutor Henrique Pinho, um agradecimento especial pela sua disponibilidade, pelas valiosas sugestões, bem como por ter sempre mostrado confiança nas minhas capacidades.

A todos os colaboradores da Sociedade Lusitana de Destilação, pela simpatia com que me receberam e pela disponibilidade para esclarecer as minhas dúvidas.

A todos os meus amigos e colegas de curso, pelo companheirismo e o interesse manifestado durante a elaboração deste relatório.

Por último, mas igualmente importantes, à minha família e à minha namorada, por todo o apoio e ânimo dado nesta importante fase da minha vida.

A todos, sinceramente, o meu muito obrigado.

Índice

Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas	xvii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xix
1. Introdução	1
1.1. Âmbito do Estágio	1
1.2. Enquadramento do Tema	1
1.3. Objetivos	2
1.4. A Sociedade Lusitana de Destilação	2
1.5. Estrutura do Relatório	5
2. Descrição do Processo e das Atividades Desenvolvidas	7
2.1. Secção de Lavagem de Bagaço	7
2.2. Secção de Secagem e Separação de Grainha.....	9
2.3. Secção de Produção de Vapor	13
2.3.1. Gerador de vapor Vulcano	14
2.3.2. Gerador de vapor Termec.....	16
2.3.3. Tratamento da Água de Alimentação	17
2.4. Secção de Destilação.....	21
2.5. Secção de Extração de Tartaratos	22
2.6. Secção da ETARI	23
2.6.1. Estação Aeróbia	24
2.6.2. Estação Anaeróbia	25
2.7. Ensaio Laboratoriais	28
2.7.1. Carência Química de Oxigénio	28
2.7.2. Carência Bioquímica de Oxigénio.....	29

2.7.3.	Dióxido de Enxofre	30
2.7.4.	pH.....	31
3.	Caracterização, Tratamento e Destino Final das Lamas	33
3.1.	Tipos de Lamas	33
3.2.	Composição.....	34
3.3.	Principais Etapas de Tratamento	36
3.4.	Opções de Destino Final.....	38
3.4.1.	Deposição em Aterro Sanitário	38
3.4.2.	Valorização Agrícola.....	39
3.4.3.	Compostagem	40
3.4.4.	Incineração.....	43
3.4.5.	Processos Térmicos Emergentes	44
4.	Legislação Referente às Lamas de Depuração	47
4.1.	Diretiva n.º 86/278/CEE	47
4.2.	Decreto-Lei n.º 118/2006.....	48
4.3.	Decreto-Lei n.º 183/2009.....	48
4.4.	Decreto-Lei n.º 276/2009.....	49
4.5.	Decreto-Lei n.º 73/2011.....	51
4.6.	Decreto-Lei n.º 103/2015.....	52
5.	Produção de Lamas	53
5.1.	Situação na União Europeia.....	53
5.2.	Situação em Portugal.....	55
6.	Conclusão.....	57
7.	Referências Bibliográficas.....	59

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema simplificado dos processos produtivos da SLD.....	4
Figura 2 – Representação esquemática de uma banda de lavagem de bagaço.....	8
Figura 3 – Esquema do processo de secagem e separação da grainha.....	12
Figura 4 – Representação esquemática de um gerador de vapor do tipo gás-tubular, com três passagens.	15
Figura 5 – Representação esquemática do processo produtivo da secção de tratamento de água e produção de vapor.....	19
Figura 6 – Esquema da estação aeróbia da ETARI.	25
Figura 7 – Esquema da estação anaeróbia da ETARI.....	27
Figura 8 – Esquema típico da obtenção de lamas numa ETAR.	34
Figura 9 – Representação esquemática de uma pilha estática arejada.....	42
Figura 10 – Exemplo de uma pilha estática a ser remexida mecanicamente.	42
Figura 11 – Representação esquemática de um reator para compostagem.	43

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Cronograma com indicação do período de tempo dedicado ao apoio a cada secção.	7
Tabela 2 – Composição química típica para lamas de depuração tratadas e não tratadas. .	35
Tabela 3 – Resumo das fases, processos e objetivos do tratamento de lamas.....	38
Tabela 4 – Valores limite de microrganismos nas lamas destinadas à agricultura.....	50
Tabela 5 – Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas destinadas à agricultura.....	50
Tabela 6 – Quantidade de lamas produzidas em alguns países da UE, no período 2010-2012, e respetiva percentagem utilizada na agricultura.	54
Tabela 7 – Estimativa da produção anual de lamas de ETAR e opções de escoamento, para os anos de 2010 e 2020.	55
Tabela 8 – Quantidade de lamas produzidas e de lamas utilizadas na agricultura a nível nacional, no período 2010-2012.	56

Lista de Abreviaturas e Siglas

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CBO – Carência Bioquímica de Oxigénio

CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C

CE – Comunidade Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

CQO – Carência Química de Oxigénio

DRAP – Direções Regionais de Agricultura e Pescas

EPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETARI – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

LER – Lista Europeia de Resíduos

MAOTDR – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

PAH – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos

PCB – Bifenilos Policlorados

PERSU – Plano Estratégico para Resíduos Urbanos

SLD – Sociedade Lusitana de Destilação

UE – União Europeia

VTI – Ventilador de tiragem induzida

ZHC – Zona Húmida Construída

1. Introdução

1.1. Âmbito do Estágio

O presente trabalho foi desenvolvido em contexto de estágio, sob a orientação do Doutor Henrique Pinho e do Doutor Fernando Reis, e encontra-se integrado na unidade curricular de Trabalho Final de Mestrado, com vista à obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Química, atribuído pela Escola Superior de Tecnologia de Tomar, pertencente ao Instituto Politécnico de Tomar. Este decorreu entre janeiro e junho de 2017, na Sociedade Lusitana de Destilação, S.A. (SLD), em Riachos, Torres Novas.

1.2. Enquadramento do Tema

O aumento da população mundial, acompanhado do desenvolvimento industrial e socioeconómico das últimas décadas, têm conduzido a uma produção crescente de resíduos, sejam eles de origem rural, urbana ou industrial. Estes resíduos, gerados nas diversas atividades humanas da atual sociedade, causam severos problemas ambientais em todo o globo. Deste modo, o Parlamento Europeu e o Conselho Europeu alertam para a necessidade de proteger a sociedade de potenciais impactos adversos no ambiente e na saúde pública, definindo uma abordagem e priorizando as ações de fluxo, nomeadamente: prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, valorização energética e por último a eliminação quando as outras ações não são possíveis (Comissão Europeia, 2008).

Neste contexto, as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) desempenham, sem dúvida, um papel muito importante na preservação do meio ambiente. Os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos vários órgãos de tratamento (equipamentos e instalações) contribuem para a despoluição dos recursos hídricos (mar, rios, ribeiras, lagos e águas subterrâneas) e para a melhoria dos ecossistemas naturais e da qualidade de vida das populações (Mendes, 2014). De um modo geral, numa ETAR a matéria-prima (águas residuais domésticas/industriais e águas pluviais) é sujeita a vários tipos de tratamentos, resultando em produtos finais, tais como a água residual tratada e as lamas de depuração.

Estas lamas, devido ao seu risco para o ambiente e para o ser humano, têm de ter um destino final apropriado de modo a minimizar ou eliminar estes riscos. Os métodos de eliminação das lamas, entre os quais se destaca a deposição em aterro sanitário, pouco ou nada trazem em termos de benefícios, sejam para o produtor das lamas que tem que pagar para se desfazer das lamas, ou sejam para o ambiente (Castro, 2014). Devido a este problema, é cada vez mais importante a aplicação de alternativas que visem à valorização deste resíduo, tornando-o num subproduto, com possível interesse económico.

1.3. Objetivos

O estágio realizado teve como objetivos gerais o contacto com a indústria e a compreensão dos processos de produção da referida empresa, com principal destaque para a Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETARI). Para esse efeito, procedi ao acompanhamento da operação das várias secções da fábrica e colaborei na realização das análises efetuadas no laboratório da empresa.

Além disso, pretendia-se alcançar um objetivo específico, o qual consistiu na identificação das possíveis vias de valorização das lamas de depuração produzidas na SLD. Apesar dos processos de produção terem sido otimizados através do reaproveitamento de vários subprodutos gerados, a empresa ainda procura para estas lamas uma solução alternativa à deposição em aterro sanitário, que seja vantajosa em termos económicos e que conduza a um impacto mínimo no meio ambiente. Deste modo, procedeu-se à elaboração de um breve estudo focado principalmente nas características e possíveis vias de valorização deste material.

1.4. A Sociedade Lusitana de Destilação

Os subprodutos representam cada vez mais um interesse acrescido do ponto de vista ambiental e, principalmente, económico. Esta importância torna-se ainda mais relevante quando um sector tem elevado peso na economia de um país, como é o caso do sector vitivinícola em Portugal (Silva, 2003). De uma maneira geral, as adegas não são capazes de tratar e valorizar os subprodutos da vinificação, já que os meios envolvidos são

dispendiosos e as quantidades produzidas individualmente não o justificam. Assim, a concentração de todos os subprodutos de várias adegas é um fator decisivo para que a valorização destes materiais seja possível. É neste contexto que as destilarias assumem especial relevância, visto que nestas se procede à concentração e transformação dos subprodutos do setor vitivinícola (Teixeira, et al., 2008).

A Sociedade Lusitana de Destilação é uma destilaria que se dedica ao processamento de subprodutos vínicos, produtos vinícolas e subprodutos da vinha, convertendo-os em produtos de alta qualidade como sejam as aguardentes vínicas e bagaceiras, brandy, álcool vínico e álcool para fins energéticos e industriais. Da sua atividade resultam ainda diversos produtos valorizáveis em diversos fins, tais como tartarato de cálcio, grainha de uva, corante natural, combustíveis sólidos e biogás.

Em cada campanha, a SLD converte cerca de 15 000 toneladas de borras de vinho, 25 000 toneladas de bagaço e, dependendo da disponibilidade do mercado, a quantidade de vinho processado pode chegar aos 60 000 000 litros. O principal mercado da SLD são os produtores de vinho do Porto, da região do Douro, a quem fornece aguardentes vínicas de elevada qualidade. Esta empresa, de cariz familiar, é a maior empresa do ramo da destilação em Portugal e uma das maiores da Península Ibérica, estando já presente no mercado espanhol.

Em 1944 começou a sua atividade produzindo álcool etílico a partir da destilação do figo. Após alguns anos, com a alteração do tipo de agricultura da região, deixou-se à margem a produção de álcool etílico a partir do figo. A empresa adaptou-se a esta mudança investindo num processo de remodelação da fábrica que possibilitou a produção do álcool através da destilação de melaço, a partir do ano de 1959.

A grande ascensão da SLD deu-se na década de 70, quando a produção de álcool não vínico é monopolizada pela Administração Geral do Álcool, que a troco de uma taxa de destilação por si estabelecida, fornecia gratuitamente toda a matéria-prima às destilarias, recebendo em troca todo o álcool produzido. Após o fim do monopólio da Administração Geral do Álcool, no início da década de 90, a empresa perdeu a liderança do mercado, e

com a impossibilidade de praticar os novos preços, iniciou em 1991 a dissolução da empresa.

A sua dissolução foi interrompida em abril de 1994, aquando da aquisição da empresa pelos atuais sócios que mantiveram a sua designação e continuaram com a destilação industrial baseada em produtos vinícolas. Atualmente a SLD lidera a nível nacional as destilações vínicas, prova das capacidades dos seus atuais acionistas e do bom investimento sustentável.

Relativamente ao processo produtivo da empresa, descrito pormenorizadamente no capítulo seguinte, apresenta-se na Figura 1 o diagrama de blocos que o resume de forma esquemática.

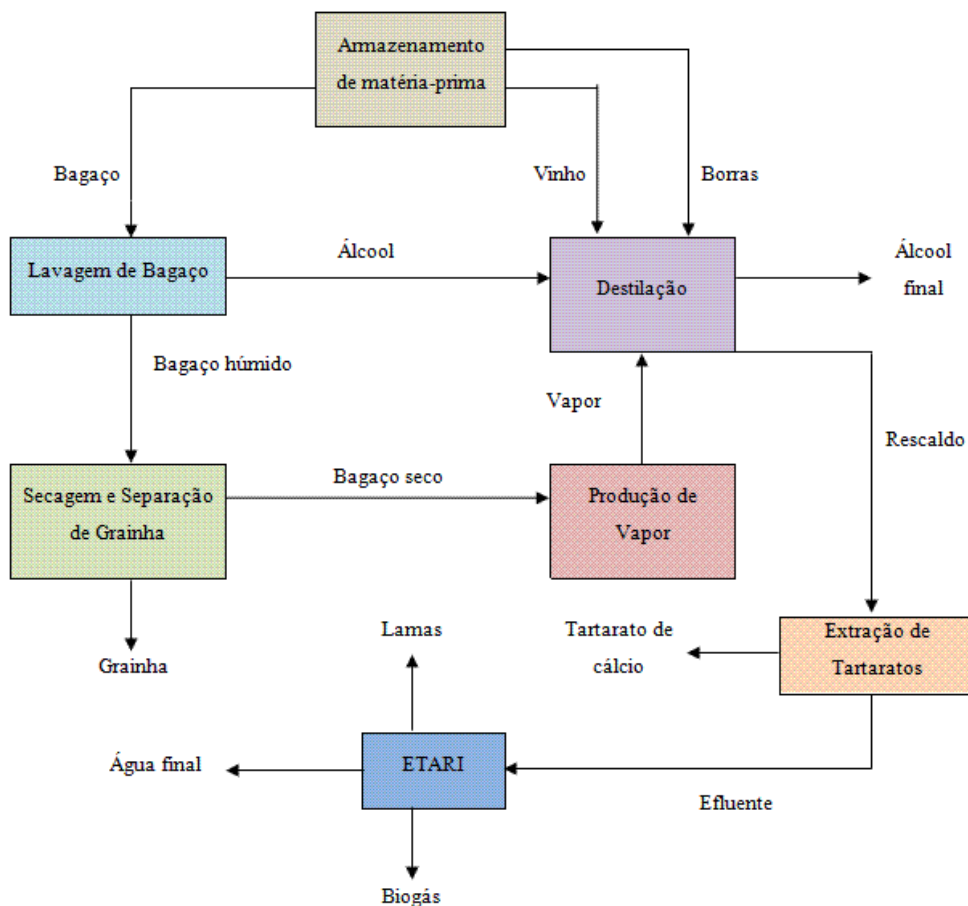


Figura 1 – Esquema simplificado dos processos produtivos da SLD.

1.5. Estrutura do Relatório

O relatório está organizado em sete capítulos, sendo que no presente capítulo consta o enquadramento do tema, os objetivos a atingir, bem como a apresentação da empresa na qual o estágio decorreu.

No capítulo 2 efetua-se a descrição do processo produtivo, das tarefas executadas enquanto o acompanhamento do mesmo, e dos ensaios experimentais realizados durante a presença no laboratório.

O capítulo 3 aborda a geração das lamas de depuração nas ETAR, as suas características, e os tratamentos a que as lamas são submetidas e que podem conduzir à sua valorização.

No capítulo 4 procede-se à identificação de alguns diplomas legislativos existentes a nível europeu e nacional, referentes à temática das lamas de depuração.

No capítulo 5 são apresentados alguns dados estatísticos relativos à geração e gestão das lamas de ETAR.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões retiradas de todo o trabalho desenvolvido.

No capítulo 7 encontra-se referenciado todo o material consultado para a elaboração do presente relatório.

2. Descrição do Processo e das Atividades Desenvolvidas

O estágio realizado consistiu, numa primeira fase, no acompanhamento da operação das várias secções de produção da SLD, por forma a compreender o processo produtivo, com principal destaque para a ETARI. Na Tabela 1 apresenta-se como foi distribuído o período de tempo dedicado ao acompanhamento do processo.

Tabela 1 – Cronograma com indicação do período de tempo dedicado ao apoio a cada secção.

Mês		Fevereiro				Março				Abril			
		1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
Secção	Semana												
	Lavagem de Bagaço												
	Secagem e Separação de Grainha												
	Produção de Vapor												
	Destilação												
	Extração de Tartaratos												
ETARI													

Após esta fase de integração, o estágio prosseguiu no laboratório das instalações da empresa, no qual foi possível ter um contacto bastante próximo com algumas das várias análises realizadas, entre as quais se destacam as referentes à ETARI. Em simultâneo, e até ao término do estágio, foi desenvolvido um estudo sobre o potencial de valorização das lamas de depuração. Deste modo, em seguida é descrito o funcionamento de cada uma das secções, as tarefas realizadas em cada uma destas, e os métodos utilizados nas análises efetuadas no laboratório.

2.1. Secção de Lavagem de Bagaço

É nesta secção que começa o processamento do bagaço de uva. Este é um dos principais subprodutos da indústria vitivinícola, não só pela sua riqueza alcoólica, mas também pelo interesse económico de alguns dos seus componentes. Genericamente, o bagaço de uva pode ser definido como o resíduo sólido composto pelos engaços, o folhelho e a grainha, proveniente da prensagem das massas vnicas (Silva, 2003). O bagaço pode ser

submetido a dois tipos de operação com vista a recuperar a fração alcoólica presente neste: a desalcoolização ou a lavagem em contracorrente.

Na primeira operação acima referida, realizada em equipamentos denominados desalcoolizadores, o álcool é extraído do bagaço por arrastamento com vapor. Após condensação, a solução hidroalcoólica obtida, que além de etanol contém uma elevada percentagem de outros álcoois e substâncias contaminantes, é armazenada e posteriormente destilada em colunas apropriadas. Quanto ao bagaço húmido, este é encaminhado para a secção de secagem e separação de grainha.

Relativamente à lavagem, esta operação é realizada em difusores (extratores sólido-líquido), equipamentos vulgarmente designados como “bandas de lavagem” (Figura 2). O bagaço é transportado ao longo de um tapete rolante perfurado e regado com água, caindo esta para recipientes contidos na parte inferior do difusor. Posteriormente, essa mesma “água” (já com algum álcool) é novamente enviada para a parte superior, sendo doseada sobre o bagaço através de um sistema de tabuleiros. A solução hidroalcoólica obtida e o bagaço húmido são encaminhados para os destinos já mencionados no caso dos desalcoolizadores.

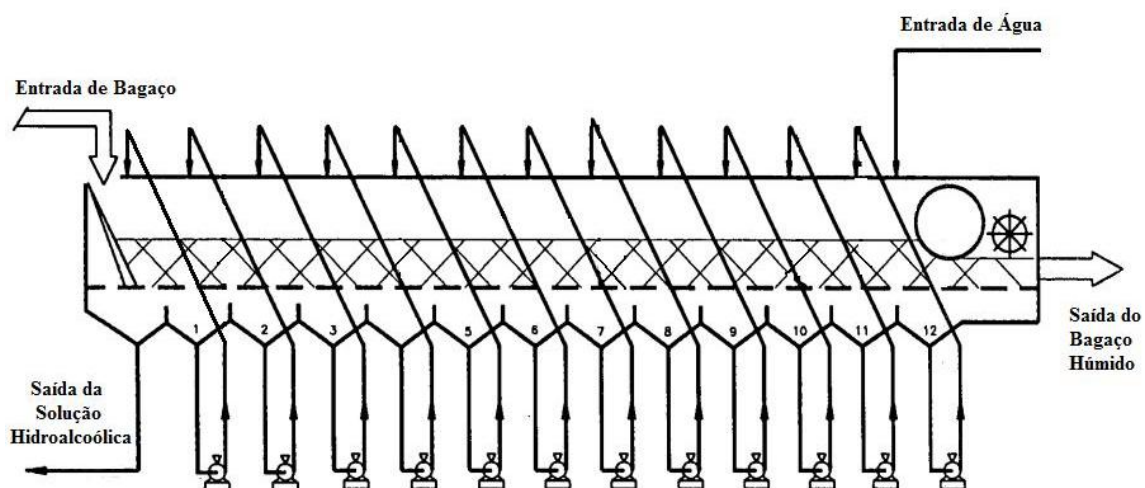


Figura 2 – Representação esquemática de uma banda de lavagem de bagaço (Adaptado de (Rein, 1995)).

Contudo, quando o bagaço é fresco e de uva tinta, existe a particularidade de também poderem ser extraídos pigmentos existentes nas películas das uvas. Assim, a solução hidroalcoólica obtida após o processo de lavagem é alimentada a um evaporador de múltiplo efeito, por forma a concentrar os pigmentos, obtendo-se no fim do processo um corante natural.

Apesar de ambos os processos serem acima descritos, durante o período dedicado ao apoio a esta secção apenas uma das duas bandas de lavagem existentes na empresa se encontrava em funcionamento. Deste modo, as tarefas diárias realizadas consistiram na recolha de amostras (bagaço à entrada, bagaço à saída e corrente de saída) para análise em laboratório, e no controlo técnico de funcionamento da banda, no qual são avaliados os seguintes parâmetros: altura de bagaço sobre o tapete transportador no interior da banda; velocidade do tapete transportador; caudal da corrente de água; densidade e temperatura da corrente de mistura hidroalcoólica.

Ainda durante o acompanhamento desta secção ocorreu uma paragem da banda para a realização de tarefas de limpeza e manutenção, nas quais tive oportunidade de participar, o que me permitiu observar o interior da banda e consequentemente compreender melhor o modo de funcionamento deste equipamento.

2.2. Secção de Secagem e Separação de Grainha

A secção do secador pode ser dividida em duas subsecções, a secção de secagem e a secção de separação da grainha. A secção de secagem tem como objetivo a redução do teor médio de humidade do bagaço, desde 60% até valores da ordem dos 8 a 12%. O bagaço é seco para que possa ser utilizado como combustível no gerador de vapor alimentado a biomassa e para facilitar a separação da grainha.

Antes de entrar no secador, o bagaço é sujeito a um processo de separação. No desengaçador, são retirados engaços e alguns objetos que poderiam danificar os equipamentos, como pedras e metais.

O secador rotativo consiste num invólucro cilíndrico, montado sobre rolos e acionado a baixa velocidade. Este tipo de secador funciona em co-corrente (o material a secar e o ar quente entram do mesmo lado). A alimentação ao secador é feita em contínuo e o bagaço permanece dentro deste aproximadamente uma hora, tempo que é normalmente suficiente para sair com o teor de humidade desejado. O equipamento instalado na SLD é um secador de duas fases, ou seja, numa extremidade há entrada da biomassa no tambor interior e, ao chegar à extremidade oposta, esta passa para o tambor exterior percorrendo o caminho inverso.

O calor que vai secar o bagaço é fornecido ao secador através de uma fornalha. Para que tal aconteça está instalado nesta secção um ventilador de tiragem induzida (VTI), que vai fazer a tiragem do ar que está no interior do secador, fazendo com que o ar quente presente na fornalha se desloque para este e entre em contacto com o bagaço húmido. O ar quente ao sair do secador vai arrastar algumas partículas de pequenas dimensões, que seriam lançadas para o exterior (atmosfera), pelo que, após sair do secador a mistura de ar/partículas passa por um ciclone, onde as impurezas são retidas. O gás a limpar entra tangencialmente num vaso cilíndrico, e os sólidos são atirados contra as paredes por ação da força centrífuga (devido ao movimento de rotação do ar no interior do ciclone). O gás limpo é retirado por uma saída no topo e posteriormente expelido pela chaminé, e as partículas recolhidas na parte inferior são utilizadas para alimentar a fornalha, sendo que quando não existe quantidade suficiente para a combustão utiliza-se também algum bagaço seco.

Depois de seco, parte do bagaço segue para o processo de separação da grainha. Ao ser colocado num tegão, o bagaço é levado até a um desengaçador que vai retirar todas as palhas e partículas de maiores dimensões. O material resultante é encaminhado para um peneiro que, com o auxílio de um filtro de mangas, promove a separação do pó do bagaço e da grainha. A grainha segue depois para os silos de armazenamento para posteriormente ser exportada com vista à extração do seu óleo, o qual tem elevado valor comercial.

Por sua vez, o pó obtido pode servir de alimentação à fornalha do secador, ou ser misturado com o bagaço seco que é transportado para o gerador de vapor, assim como as palhas recuperadas no desengaçador. Na Figura 3 é apresentado, de forma esquemática, o processo de secagem e o de separação de grainha realizados nesta secção.

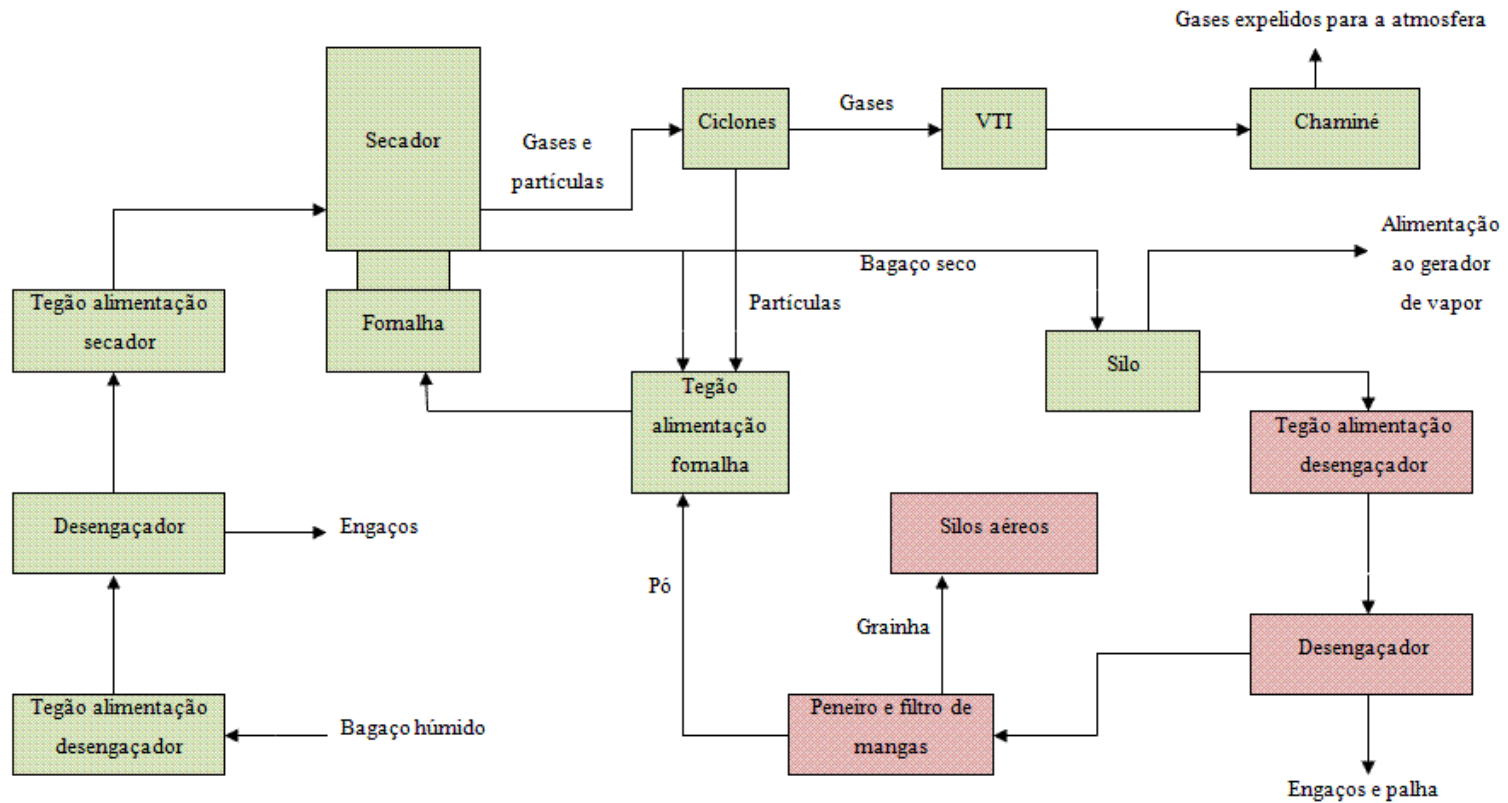


Figura 3 – Esquema do processo de secagem e separação da grainha.

A nível de tarefas, são descritas em seguida aquelas em que participei durante o acompanhamento desta secção:

a) Limpeza da grelha da fornalha

Limpeza feita diariamente para que não exista acumulação de cinzas na grelha. Caso exista a acumulação de uma grande quantidade de cinzas verificar-se-á uma fraca combustão, prejudicando o normal funcionamento do secador.

b) Troca do peneiro

Quando os orifícios do peneiro começam a ficar obstruídos, a separação da grainha e das partículas torna-se ineficiente, sendo assim necessário proceder à sua troca.

c) Limpeza do ventilador de tiragem induzida

Na limpeza do VTI é retirada toda a sujidade acumulada no seu interior, inclusive na ventoinha, pois caso esta tenha ainda muitas partículas acumuladas não irá efetuar uma tiragem eficiente, conduzindo a uma baixa eficiência na passagem do calor desde a fornalha até ao secador.

2.3. Secção de Produção de Vapor

Os geradores de vapor são equipamentos industriais onde é produzido vapor de água a pressão superior à atmosférica, sendo comumente designados por caldeiras (Rebelo, 2007). Esta secção é constituída por dois geradores de vapor - um deles alimentado a biomassa (marca Vulcano) e outro alimentado a nafta (marca Termec) - bem como por vários equipamentos destinados ao tratamento da água de alimentação às caldeiras.

Ambos os geradores de vapor estão equipados com vários órgãos de proteção, tais como: portas resistentes e de fácil manobra para acesso aos feixes tubulares, fornalha, cinzeiro e condutas; portas de visita e limpeza que permitam a realização eficiente dessas

operações; portas de explosão; manómetros; válvulas de segurança, de retenção da água (na entrada da água na caldeira), de passagem (na saída do vapor), e de purga (de fundo e de superfície).

O vapor gerado pelas caldeiras é encaminhado para um coletor, a partir do qual é distribuído pelas diversas secções em que este é necessário aos processos, entre as quais se destaca a secção de destilação.

2.3.1. Gerador de vapor Vulcano

A caldeira Vulcano possui uma superfície de aquecimento de 180 m², uma capacidade de 17450 L, e é do tipo gás-tubular, ou seja, os gases quentes provenientes da combustão que se processa na fornalha passam por dentro do tubular (um feixe organizado de tubagens), enquanto que a água a vaporizar está no exterior dos tubos.

A fornalha desta caldeira é de alimentação mecânica, sendo controlada através de um variador de velocidade acoplado a um sem-fim de alimentação. O seu tipo de carregamento é de carregadores por projecção, nos quais o combustível é projetado sobre a grelha.

No caso geral, os gases quentes passam por três áreas de transferência térmica, sendo a primeira a câmara de combustão (Figura 4). Na extremidade desta encontra-se a câmara de inversão, onde os gases são reencaminhados para a área de transferência térmica seguinte, ou seja, para os tubos de fumo da segunda passagem. Chegando à câmara de inversão frontal, estes são enviados para os tubos da 3^a passagem e depois para a caixa de fumo que os orienta para os ciclones.

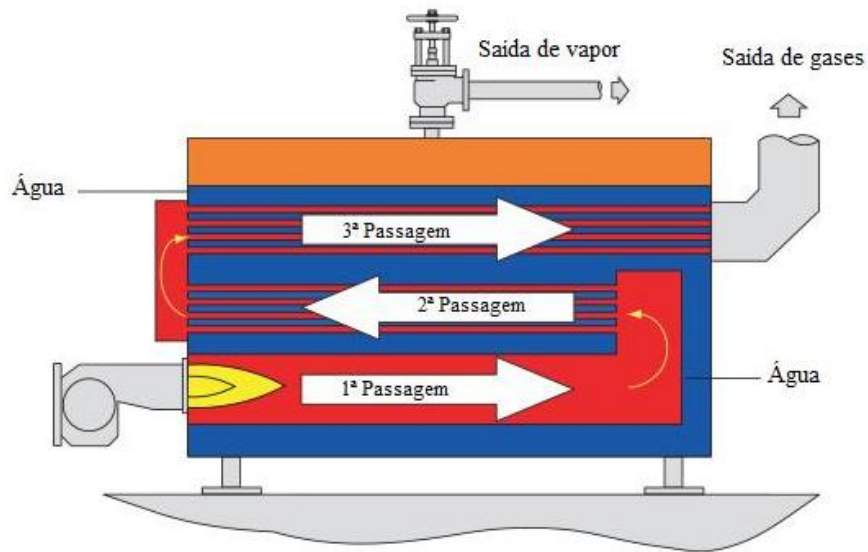


Figura 4 – Representação esquemática de um gerador de vapor do tipo gás-tubular, com três passagens (Adaptado de (Spirax Sarco, 2017)).

Para um bom funcionamento das caldeiras é necessária uma manutenção contínua, principalmente da caldeira a biomassa pois é a que apresenta a maior carga de trabalho. Assim, regularmente são efetuadas paragens para a limpeza desta caldeira e, conseqüentemente, a caldeira a nafta apenas entra em funcionamento nessas ocasiões.

Deste modo, durante o acompanhamento desta secção foi possível participar nas seguintes atividades de limpeza e manutenção da caldeira Vulcano:

a) Limpeza geral em frio

Na limpeza geral do gerador de vapor Vulcano é feita uma limpeza completa do seu interior, o que engloba a câmara de combustão, as câmaras de inversão dos gases, e o tubular. A limpeza do tubular consiste em limpar os tubos de fumo com um escovilhão comprido, para que seja possível limpar os tubos em todo o seu comprimento. Depois desta limpeza verifica-se por parte do gerador de vapor uma eficiência de transferência térmica superior, pois toda a jorra (escórias) e fuligem presentes nas paredes dos componentes é retirada.

b) Limpeza da jorra da grelha

A limpeza das jorra da grelha é uma tarefa realizada diariamente, pois caso exista uma grande acumulação de detritos na grelha a combustão vai ser mais fraca e a caldeira tende a perder rendimento.

c) Extração da cinza do ciclone

As partículas mais pesadas ficam depositadas na grelha mas as partículas mais leves acabam por ser transportadas juntamente com os gases. Como essas cinzas são prejudiciais para o meio ambiente, procede-se à sua separação dos gases através dos ciclones, sendo estas recolhidas e encaminhadas para aterro.

2.3.2. Gerador de vapor Termec

A caldeira Termec possui uma superfície de aquecimento de 150 m² e uma capacidade de 15330 L. Esta caldeira é um gerador de vapor com queimador de pulverização. Nestes queimadores, o combustível é lançado com pequena pressão num copo de forma cónica, que está animado com movimento de rotação, muito rápido. O movimento de rotação é dado por meio de um motor elétrico.

O combustível caindo no copo é centrifugado e atirado para fora, formando uma camada fina com a forma cónica que se divide em gotas pelo choque com o ar que também é lançado na câmara de combustão, por meio de um ventilador centrífugo. Estas pequenas gotas aquecem devido à temperatura elevada que existe na câmara de combustão. Vaporizam-se e como estão envolvidas pelo ar, ardem como um gás. A vaporização é tanto mais rápida, quanto mais pequenas forem as gotas e quanto melhor estiver distribuído o ar entre elas (Rebelo, 2007).

Ao contrário do que se verifica na caldeira Vulcano, este gerador de vapor forma uma quantidade bastante reduzida de partículas, que não são prejudiciais quando libertadas para a atmosfera, e por isso os fumos são expelidos pela chaminé sem passarem pelos ciclones.

2.3.3. Tratamento da Água de Alimentação

As caldeiras são equipamentos de grande relevância por serem responsáveis pela produção de vapor. O vapor é essencial aos mais diversos processos industriais pelo que a paragem forçada de caldeiras pode acarretar custos elevados. Por conseguinte, uma manutenção adequada assume um papel fundamental na boa operação destes sistemas.

A manutenção preventiva em caldeiras inclui um correto tratamento da água. A inibição de fenómenos corrosivos e incrustantes visa a sua proteção, promovendo a sua longevidade e um melhor rendimento operacional. A título de exemplo, a existência de incrustações pode incrementar até 40% o consumo de combustível para a mesma produção de vapor (Petrochem, 2017).

Na SLD estão instalados vários tratamentos para a água que é utilizada nos geradores de vapor. Esta consiste numa proporção de condensados recuperados do processo de geração de vapor, misturados com água fresca de reposição proveniente da captação de um furo de águas subterrâneas.

A água de reposição utilizada pode transportar partículas contaminantes que se encontram em suspensão, o que aumenta a possibilidade de se verificarem deposições de sedimentos e, também, a formação de complexos salinos nas superfícies metálicas (devido à presença de sais de cálcio e magnésio), que para além de contribuírem para a diminuição da eficiência térmica, promovem ainda fenómenos de corrosão. Desta forma, o primeiro passo do tratamento consiste num filtro de areia, que retém as partículas em suspensão.

Depois deste processo de filtragem a água segue para a osmose inversa e/ou para o filtro de resinas catiónicas (também designado por descalcificador). Normalmente a água é tratada pelo processo de osmose inversa, utilizando-se o descalcificador apenas quando a osmose inversa está em manutenção, em caso de avaria desta, ou quando é necessária uma quantidade de água superior, sendo que neste caso os dois sistemas funcionam em simultâneo.

Na osmose inversa a água é tratada através de membranas que são capazes de remover substâncias dissolvidas na água até ao tamanho de iões. O processo de osmose inversa é bastante eficaz a remover sólidos dissolvidos na água, o que é necessário para as caldeiras que exigem água muito pura devido ao risco de incrustação. Por sua vez, no descalcificador ocorre um processo de permuta iónica, o qual consiste na remoção de sais ionizados presentes na água através de resinas sintéticas. As resinas apresentam a propriedade de efetuarem a troca dos iões que as constituem pelos iões que se pretende remover da água.

Após estes processos, a água é armazenada em dois depósitos. Antes de entrar nos geradores de vapor, a água é aquecida no economizador a uma temperatura de aproximadamente 80 °C, através de uma pequena parte do vapor produzido pelo próprio gerador de vapor. Além do aquecimento da água, no economizador são adicionados também vários produtos químicos que complementam o tratamento a que a água é sujeita previamente.

Na Figura 5 é apresentado, de forma esquemática, o processo de tratamento de água e o de produção de vapor realizados nesta secção.

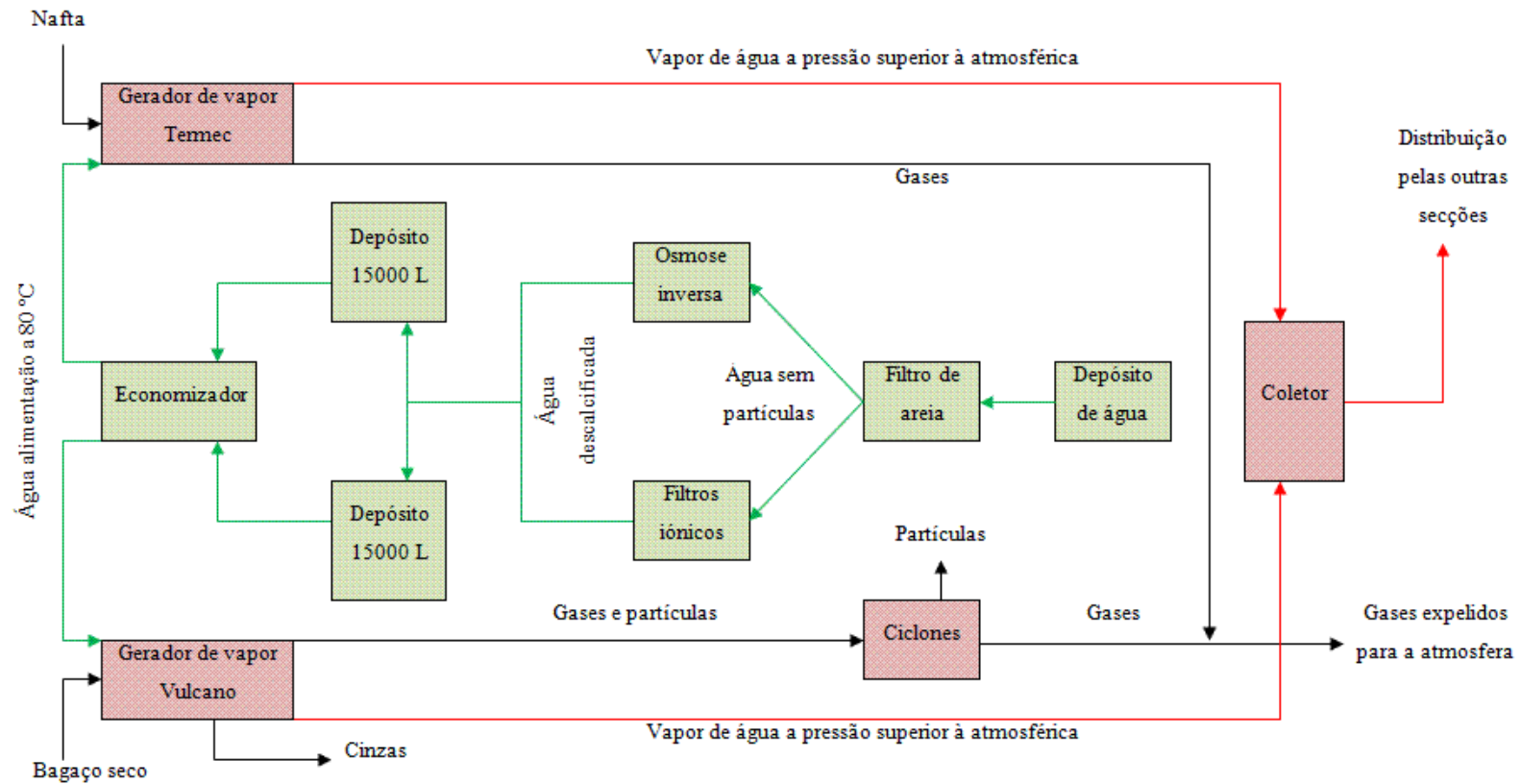


Figura 5 – Representação esquemática do processo produtivo da secção de tratamento de água e produção de vapor.

Durante o acompanhamento desta secção participei nas seguintes atividades relacionadas com o tratamento de água:

a) Tratamento das membranas do sistema de osmose inversa através de biocida

O biocida é um conservante que impede o ataque de fungos e bactérias a todo tipo de material orgânico, devendo este tratamento das membranas ser feito com regularidade. Para se realizar este processo em primeiro lugar coloca-se o sistema de osmose inversa em modo manual e corta-se a alimentação de água para os depósitos, para que a água já tratada não seja misturada com a água resultante do tratamento com o biocida. Assim a água resultante do biocida é conduzida para o esgoto. Depois do processo de biocida coloca-se o sistema de osmose inversa em funcionamento durante 15 minutos para que qualquer vestígio do processo de biocida seja encaminhado para o esgoto. Passado este período, abre-se novamente a torneira do depósito e fecha-se a torneira de esgoto. Por fim o sistema de osmose inversa é colocado novamente em modo automático.

b) Produtos químicos utilizados na manutenção das membranas do sistema de osmose inversa

Para a manutenção das membranas do sistema de osmose inversa são utilizados dois produtos químicos que vão ser introduzidos através de bombas doseadoras na água que passa pelas membranas. Num depósito está bissulfito de sódio, sendo utilizado como antioxidante. Num outro depósito está uma solução aquosa ácida de fosfanatos e polímeros que é utilizada como inibidor de incrustação e agente de desfloculação. Ambos os produtos químicos são adicionados em solução diluída.

c) Produtos químicos utilizados na água de alimentação do economizador

Na água de alimentação do economizador são adicionados quatro produtos químicos, cada um com um objetivo específico e que são essenciais para a manutenção dos geradores de vapor. Os produtos químicos adicionados são sulfitos, fosfatos, anti-espumas e hidróxido de sódio. Os sulfitos têm a função de inibir a corrosão, os fosfatos a de inibir a

formação de incrustações, o anti-espumas a de evitar a formação de espumas nas tubagens em que circula o vapor, e o hidróxido de sódio faz a regulação do pH da água.

d) Manutenção do filtro de resinas catiónicas através da regeneração por salmoura

Quando toda a resina estar saturada pelos iões presentes na água é necessário efetuar a regeneração das resinas. O processo de regeneração é feito através de salmoura, que vai retirar a saturação de calcário que existe nas resinas. A salmoura utilizada na regeneração é feita a partir de cloreto de sódio. O sal é adicionado num depósito à parte e, como existem dois descalcificadores, quando um está em processo de regeneração, o outro pode estar em funcionamento.

2.4. Secção de Destilação

Nesta secção procede-se à destilação do vinho, das borras e da mistura hidroalcoólica obtida nas bandas de lavagem e desalcolizadores, e à retificação de alguns dos destilados resultantes desse processo. Uma vez que existem várias matérias-primas para destilar, também existem diferentes equipamentos para esse efeito, podendo estes ser divididos em quatro grupos.

No grupo I procede-se à destilação das borras, que podem ser definidas como o resíduo que fica depositado nos recipientes após atividade fermentativa dos mostos e ao longo dos vários processos tecnológicos empregues no fabrico de vinho (Silva, 2003). As borras sólidas são previamente liquefeitas e misturadas com as borras líquidas. Após introdução das borras na coluna estas são submetidas a uma forte ebulição, induzida pela injeção direta de vapor. O destilado obtido é armazenado para ser posteriormente retificado. Por sua vez, o rescaldo desalcolizado e rico em matérias em suspensão é retirado pelo fundo da coluna e encaminhado para a secção de extração de tartaratos.

No grupo III procede-se à destilação da mistura hidroalcoólica obtida na secção das bandas de lavagem e desalcolizadores, obtendo-se um destilado que pode ser considerado como produto final ou ser sujeito posteriormente a retificação. Por sua vez, no grupo II

procede-se à destilação do vinho, obtendo-se um destilado que é considerado produto final. Os rescaldos destes dois grupos também podem ser encaminhados para a extração de tartaratos.

No grupo IV procede-se à retificação dos destilados dos grupos I e III, que são líquidos alcoólicos impuros, visto que para além do etanol e da água contêm vários compostos orgânicos indesejáveis, tais como o metanol, ésteres, aldeídos e álcoois superiores. Através de um sistema constituído por várias colunas de destilação, estes compostos são separados do etanol, obtendo-se um produto final mais puro e concentrado, com uma graduação alcoólica próxima de 96% (v/v), denominado álcool retificado.

Quanto às tarefas realizadas, durante o acompanhamento desta secção participei na recolha de amostras dos rescaldos dos vários grupos para análise em laboratório, no controlo da graduação alcoólica e temperatura do álcool final, e na manutenção das torres de refrigeração por forma a inibir fenómenos corrosivos, incrustações e crescimento microbiológico.

2.5. Secção de Extração de Tartaratos

Os rescaldos provenientes da secção de destilação contêm substâncias tartáricas, principalmente bitartarato de potássio. Para que possa ser separado do restante resíduo é necessário transformá-lo em tartarato de cálcio, visto que este apresenta baixa solubilidade em água (Dabul, 1963). Por sua vez, o tartarato de cálcio é um subproduto rentável em termos económicos, devido ao facto deste poder ser utilizado na preparação de ácido tartárico. Devido às suas propriedades, este ácido possui uma vasta gama de aplicações em várias indústrias, destacando-se a sua utilização como acidulante no vinho e em produtos alimentares (IHS Markit, 2017).

Após a destilação, o rescaldo passa por um crivo de tambor rotativo, no qual são extraídas as impurezas sólidas acima de uma determinada dimensão. Em seguida, o resíduo resultante é bombeado para um depósito com agitação, no qual é adicionado ácido caso se verifique a necessidade de corrigir o valor de pH. Por sua vez, após passar para um

segundo depósito, é adicionada uma solução aquosa alcalina, resultando na neutralização do rescaldo e consequente formação dos cristais de tartarato de cálcio (Galanakis, 2017).

Os cristais formados encontram-se em suspensão, juntamente com uma grande quantidade de matéria orgânica. Por forma a aumentar a pureza do produto, esta suspensão é transferida para uma bateria de hidrociclones nos quais os cristais são separados da água residual contendo a maior parte dos contaminantes. Esta água residual é encaminhada para a ETARI para tratamento.

Do último hidrociclone sai uma suspensão concentrada de cristais que alimenta de forma descontínua a centrífuga existente na secção, dotada de cesto filtrante. Durante a centrifugação, os cristais ficam retidos no cesto e água restante é conduzida para tratamento. Após esta operação, os cristais com teor de humidade entre os 20% e os 25% são transferidos para um secador composto por três tubos cilíndricos envolvidos em camisa de vapor e em cujo interior se encontra um sem-fim que faz avançar os cristais. Por último, o tartarato de cálcio seco é pesado e embalado para posteriormente ser exportado.

Quanto às tarefas realizadas, durante o acompanhamento desta secção participei na limpeza do crivo, da centrífuga e do secador, na preparação da solução aquosa alcalina, e no controlo efetuado três vezes por turno ao pH do rescaldo à entrada, após adição do ácido, e após adição da solução mencionada anteriormente.

2.6. Secção da ETARI

Todos os resíduos líquidos não aproveitáveis provenientes do processo de produção são encaminhados para a ETARI. Esta secção está dividida em duas estações, a estação aeróbia, onde ocorre a digestão aeróbia da matéria orgânica e onde são separadas as lamas de depuração da água residual, e a estação anaeróbia, onde ocorre o aproveitamento da fração biodegradável da matéria orgânica, dando origem a biogás que é utilizado para a produção de energia elétrica.

2.6.1. Estação Aeróbia

Os vários resíduos provenientes do processo produtivo são recebidos no tanque de homogeneização, sendo o efluente resultante posteriormente encaminhado para a estação anaeróbia. Após completar o tempo de residência nos reatores da estação anaeróbia, o efluente regressa à estação aeróbia, sendo-lhe adicionado floculante de forma a melhorar o seu processo de sedimentação, sendo de seguida encaminhado para o decantador 1. Os sólidos sedimentados são encaminhados para o depósito de fibra que funciona como coletor de resíduos, enquanto o decantado é encaminhado para um reator alimentado por oxigénio de forma a facilitar a digestão aeróbia.

O efluente é depois encaminhado para o decantador 2, onde é adicionado coagulante por forma a promover a separação dos sólidos e da água. A água decantada segue então para o depósito de água final, enquanto os sólidos sedimentados seguem para o depósito de fibra. Este depósito é ainda alimentado pelas lamas do fundo do depósito 2 e do fundo do depósito 5. Os resíduos acumulados no depósito de fibra são encaminhados para o decantador 3, que funciona apenas como depósito, e seguem de seguida para a prensa de lamas, na qual é doseado floculante para que ocorra a precipitação dos sólidos, resultando desse processo lamas e água.

As lamas são encaminhadas para aterro, enquanto a água segue para o depósito 2. Esta água passa por decantação para o depósito 5, sendo seguidamente encaminhada para o coletor da ETAR municipal. Parte deste caudal é desviado para uma zona húmida construída (ZHC), à escala piloto, com o objetivo de efetuar um tratamento avançado do efluente, por forma a permitir a sua descarga diretamente no meio hídrico.

Na Figura 6 é apresentado o esquema da estação aeróbia da SLD. As setas a verde representam o caminho seguido pela água, as setas pretas indicam o caminho dos resíduos, e as setas vermelhas indicam os componentes que são adicionados ao longo do processo.

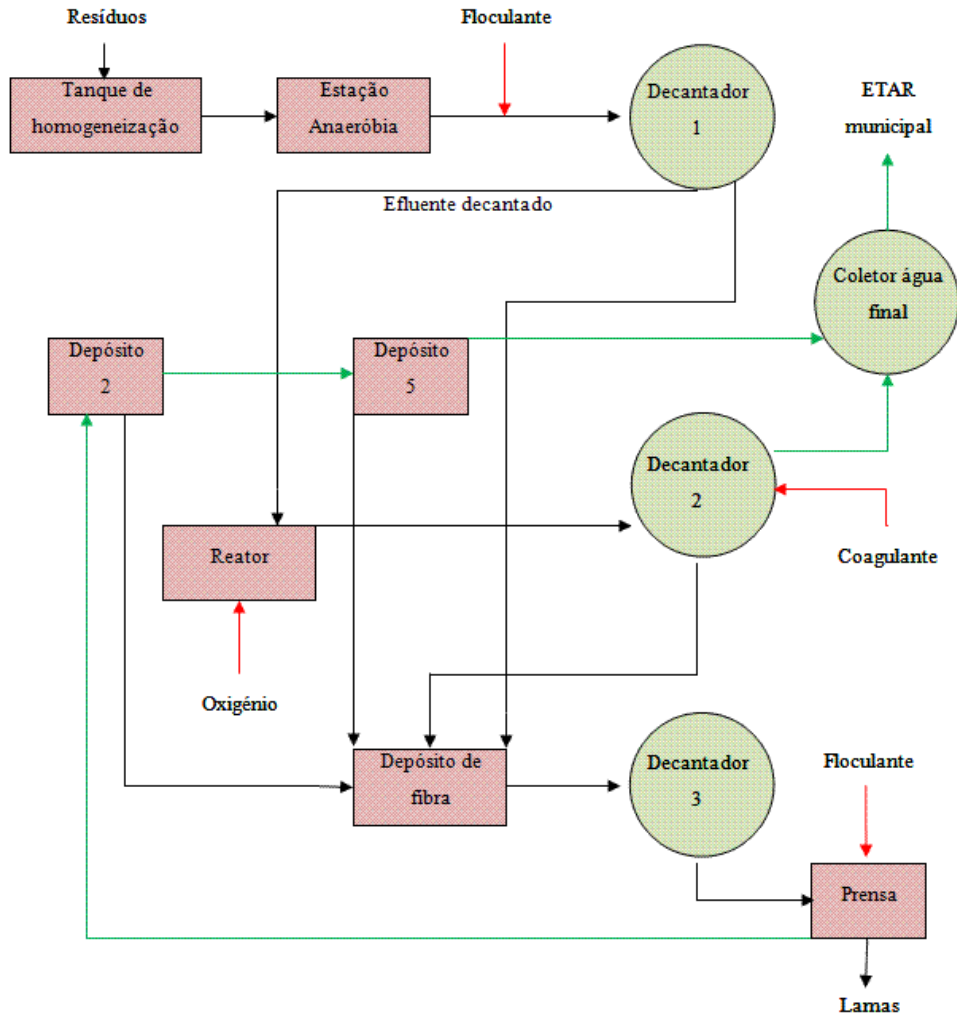


Figura 6 – Esquema da estação aeróbia da ETARI.

2.6.2. Estação Anaeróbia

Após a passagem dos resíduos pelo tanque de homogeneização da estação aeróbia estes chegam à estação anaeróbia. Nesta estação ocorre a digestão anaeróbia, que consiste na degradação de matéria orgânica, realizada por microrganismos e em condições de ausência de oxigênio, transformando-a em compostos mais simples e em biogás, que é composto em média por 60% de metano (CH_4) e 40% de dióxido de carbono (CO_2).

Normalmente, exceto quando existem problemas devido à acumulação de sedimentos, o primeiro recetor dos resíduos provenientes da estação aeróbia é o reator 1. Deste reator, os resíduos passam sucessivamente por decantação para os outros três reatores. No reator 4, os resíduos permanecem entre 10 a 30 dias, sendo esse o seu tempo de residência. Após esse período, a matéria passa através de um sifão para um pequeno depósito, a partir do qual é depois reencaminhada para a estação aeróbia.

Todos os reatores possuem condutas no topo, que recolhem o biogás produzido pelas bactérias. Este produto é enviado para um coletor, a partir do qual é encaminhado para um gasómetro, que alimenta um motor para geração de energia elétrica. Quando o caudal de biogás produzido é superior ao consumido pelo motor e o gasómetro se encontra cheio, é ligada uma tocha responsável pela queima do biogás em excesso.

Na estação anaeróbia encontra-se instalado um permutador de calor que utiliza a água de refrigeração do motor por forma a manter a temperatura interior dos reatores a cerca de 40 °C, para que as bactérias tenham condições ideais para o seu desenvolvimento.

Na Figura 7 é representado o esquema da estação anaeróbia da SLD. As setas pretas indicam o percurso do efluente, enquanto as setas amarelas indicam o percurso do biogás produzido na estação.

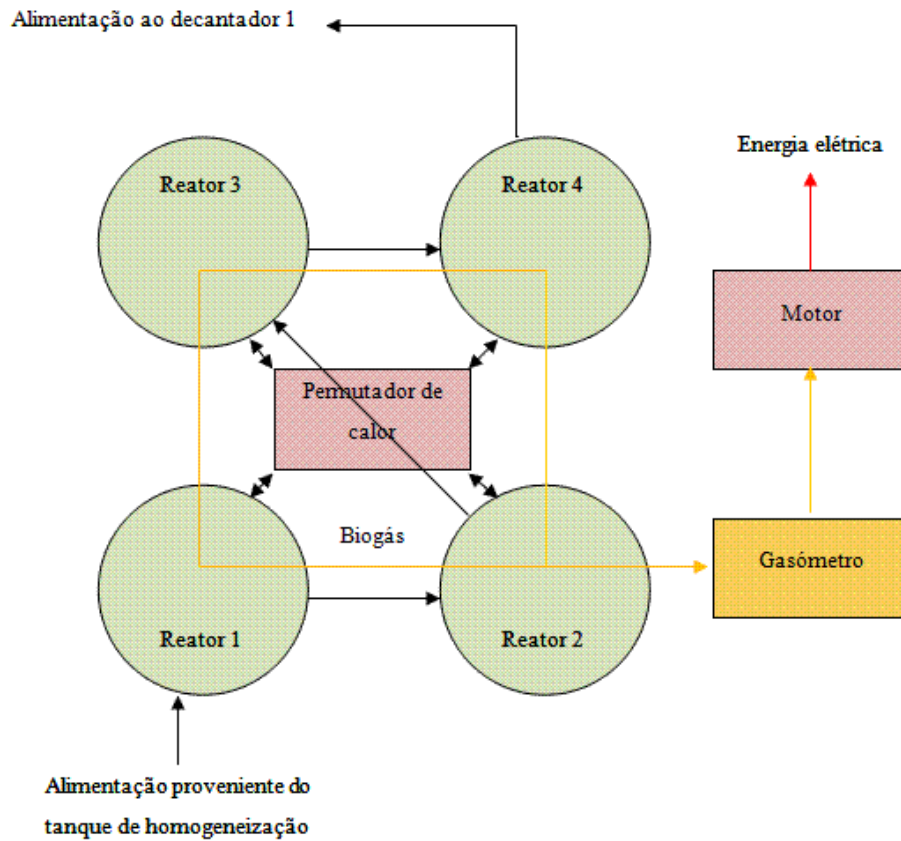


Figura 7 – Esquema da estação anaeróbia da ETARI.

Durante o acompanhamento desta secção tive oportunidade de participar nas várias tarefas realizadas, tais como:

- Vigilância do nível dos vários depósitos subterrâneos da estação aeróbia, bem como dos vários equipamentos existentes na secção (decantadores, prensa de lamas, bombas de fundo, bombas de superfície, soprador, equipamento automático de introdução de produtos químicos);
- Acompanhamento do funcionamento do motor alimentado a biogás;
- Carregamento dos reservatórios de floculante e coagulante;
- Purga ao coletor e ao gasómetro, por forma a retirar a água que tiver sido arrastada com o biogás;
- Determinação do pH e do nível de lamas de amostras retiradas do tanque de homogeneização, do reator aeróbio, e dos três níveis de cada um dos quatro reatores anaeróbios;

- Recolha de amostras, conforme indicado no ponto 2.7, para análise em laboratório.

2.7. Ensaaios Laboratoriais

No laboratório da SLD são realizadas várias análises referentes à ETARI com o objetivo de controlar parâmetros como a Carência Química de Oxigênio (CQO), a Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO), o teor de dióxido de enxofre (SO₂) (vulgo sulfuroso), e o valor de pH. Este controlo é realizado visto que, antes da descarga de águas residuais industriais no coletor municipal, as características destas devem respeitar os limites impostos pela regulamentação existente. Em seguida é descrito sucintamente em que consiste cada um desses parâmetros, bem como o método analítico utilizado na sua avaliação.

2.7.1. Carência Química de Oxigênio

A Carência Química de Oxigênio é definida como a quantidade total de oxigênio necessário para oxidar toda a matéria orgânica numa amostra de água. A oxidação é realizada em meio ácido através de um agente oxidante, cujo consumo fornece uma medida indireta do teor de matéria orgânica, e da respetiva quantidade de oxigênio necessário. Os valores de CQO são sempre superiores aos de CBO, uma vez que este teste oxida matéria orgânica inerte, assim como matéria orgânica biologicamente disponível (Real Tech, 2017).

Este parâmetro é controlado à segunda, quarta e sexta-feira de cada semana, sendo analisadas amostras do tanque de homogeneização, do depósito 5, dos decantadores 1 e 2, das correntes de entrada e de saída da ZHC, do coletor de água final, e da vala de águas pluviais.

O método analítico consiste em utilizar tubos de ensaio da Hanna Instruments, modelo HI 94754A, que já contêm um reagente pré-preparado, bastando juntar 2 mL de amostra diluída (o fator de diluição utilizado varia em função da gama de quantificação de

CQO). O reagente é constituído por dicromato de potássio (forte agente oxidante), sulfato de prata (catalisador), sulfato de mercúrio (II) (elimina a interferência do ião cloreto), e ácido sulfúrico (confere carácter ácido ao meio). Posteriormente, para que ocorra a digestão das amostras, os tubos são colocados num termo-reator da Hanna Instruments, modelo HI 839800, a 150°C durante 2 horas. Por último, o valor de CQO é determinado num fotómetro multi-parâmetros da Hanna Instruments, modelo HI 83214. Uma vez que o valor indicado no *display* é o valor de CQO (expresso em mg_{O_2}/L) na amostra diluída, é depois necessário multiplicar este valor pelo fator de diluição utilizado.

2.7.2. Carência Bioquímica de Oxigénio

A Carência Bioquímica de Oxigénio representa a quantidade de oxigénio consumido pelos microrganismos na decomposição de matéria orgânica numa determinada água em condições aeróbias. Como este processo é, ainda assim, numa certa lentidão, convencionou-se tomar, como parâmetro representativo do teor em matéria orgânica numa água, o valor da CBO ao fim de cinco dias de incubação, a 20 °C (CBO₅) (Sousa, 2001). Este parâmetro é controlado semanalmente, sendo analisadas amostras das correntes de entrada e de saída da ZHC, do coletor de água final, e da vala de águas pluviais.

O método analítico utilizado baseia-se na medição da diferença de pressão em sistema fechado (determinação respirométrica de CBO), com recurso ao equipamento OxiTop® da WTW. Em primeiro lugar, a partir do valor esperado para a amostra de água residual (aproximadamente 80% do valor de CQO obtido para a mesma amostra) é possível, através de tabelas fornecidas pelo fabricante do equipamento, determinar o volume de amostra e a quantidade de inibidor de nitrificação a utilizar (elimina a interferência causada pela presença de bactérias nitrificantes), bem como o fator pelo qual são posteriormente multiplicados os valores apresentados pela cabeça de medição.

A amostra, o inibidor e uma barra magnética são introduzidos numa garrafa de medição. Na abertura desta é colocado um cone de borracha, no qual são introduzidas lentilhas de hidróxido de sódio. Em seguida, a cabeça de medição é enroscada na garrafa

por forma a fechá-la hermeticamente. Inicia-se a medição e deixa-se a garrafa sob agitação magnética, no interior de uma câmara termostática a 20 °C, durante cinco dias.

Os microrganismos presentes na amostra consomem o oxigénio e libertam dióxido de carbono que por sua vez é absorvido pelas lentilhas de hidróxido de sódio, criando assim uma diferença de pressão no interior da garrafa. Esta é medida pelo sensor OxiTop®, uma vez por dia ao longo do período de incubação, sendo que o sistema realiza automaticamente a conversão dos valores de pressão manométrica para valores de CBO (expressos em mg_{O_2}/L), armazenando-os para posterior consulta.

2.7.3. Dióxido de Enxofre

A acumulação de compostos sulfurados e a redução destes através de bactérias anaeróbias pode conduzir à formação de sulfeto de hidrogénio (H_2S) (Szarblewski, et al., 2012). Este é um gás incolor, mais denso que o ar, com odor desagradável a ovos podres, extremamente tóxico e corrosivo, danificando equipamentos e tubagens. Embora os sulfatos (SO_4^{2-}) sejam geralmente a fonte de enxofre, vários outros compostos podem originar H_2S , incluindo os sulfitos (Kularatne, et al., 2003).

Por sua vez, o dióxido de enxofre (SO_2) é amplamente utilizado como conservante na indústria alimentar. Este é adicionado a alimentos e bebidas, com o objetivo de evitar processos indesejáveis como o crescimento microbiano, descoloração e oxidação, e conseqüentemente, melhorar a qualidade e a aparência final dos produtos. No vinho, o dióxido de enxofre pode ser encontrado ligado, principalmente a compostos que contêm o grupo carbonilo, ou livre, sob a forma de SO_2 , anião bissulfito (HSO_3^-) ou anião sulfito (SO_3^{2-}), dependendo do pH da amostra (Gonçalves, et al., 2010).

Deste modo, tendo em consideração o acima referido e o facto de que anualmente são processados vários milhões de litros de vinho na SLD, verifica-se a extrema importância de avaliar o teor de dióxido de enxofre total (soma entre o SO_2 livre e o SO_2 ligado) presente nos reatores anaeróbios, por forma a prevenir a formação de H_2S . Assim,

semanalmente são analisadas amostras do nível intermédio de cada um dos reatores anaeróbios e do tanque de homogeneização.

Para a quantificação do SO_2 total, é realizado um método iodométrico baseado no método de Ripper. Segundo este método, após a adição da amostra a água destilada, é adicionado uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), seguindo-se um período de espera de 15 minutos. O NaOH é adicionado para que ocorra a reação de hidrólise alcalina, ou seja, para que o sulfuroso combinado quebre ligações e passe a sulfuroso livre. Após acidificação do meio com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e adição de solução cozimento de amido (indicador), procede-se à titulação com iodo. Posteriormente são realizados os cálculos necessários, sendo o resultado final expresso em $\text{mg}_{\text{SO}_2}/\text{L}$.

2.7.4. pH

A concentração do ião hidrogénio (H^+), usualmente expressa sob a forma de pH, é um parâmetro de qualidade muito importante das águas naturais e das águas residuais porque o seu valor determina todos os equilíbrios que se estabelecem numa água. Assim, é analisado diariamente o pH de amostras do coletor de água final e da vala de águas pluviais.

3. Caracterização, Tratamento e Destino Final das Lamas

De forma a tratar e eliminar eficazmente as lamas de depuração originárias dos processos de tratamento de águas residuais, é crucial ter conhecimento das características das lamas que irão ser processadas. Por sua vez, estas dependem da composição do efluente tratado, da tecnologia aplicada e da fase da ETAR em que foram originadas as lamas (Uggetti, et al., 2010).

3.1. Tipos de Lamas

De uma forma simples, pode afirmar-se que as lamas são uma mistura de sólidos e água, distribuídas por três categorias principais conforme o processo de tratamento em que foram obtidas.

Assim, do tratamento primário surgem lamas compostas maioritariamente por sólidos sedimentáveis e que apresentam geralmente cor escura, odor muito desagradável e elevada viscosidade. Caracterizam-se por conterem um teor relativamente elevado de matéria orgânica, grande parte da qual é facilmente biodegradável (lamas primárias).

Nos processos secundários imperam os tratamentos biológicos, os quais têm como base o potencial de transformação da matéria orgânica pelo metabolismo microbiano, havendo produção de biomassa que origina as lamas biológicas ou secundárias. Existem dois tipos destas lamas, de acordo com o tratamento efetuado: as lamas ativadas e as lamas produzidas por sistemas de biomassa fixa (biofilme).

As lamas biológicas resultantes do processo de lamas ativadas são constituídas por microrganismos floculados, apresentam uma cor entre o castanho-escuro e o cinzento, e um teor de sólidos menor de 1,5%. Por sua vez, as lamas biológicas produzidas por sistemas de biomassa fixa são constituídas por fungos e bactérias que se libertam do material de suporte dos biofilmes, exibem uma cor castanho-escuro, e apresentam um teor de sólidos ligeiramente superior às lamas ativadas (1 a 2%) (Tchobanoglous, et al., 2003).

Em muitas instalações, mistura-se as lamas resultantes do tratamento primário com as do tratamento secundário, formando as lamas mistas, que são tratadas de forma conjunta (Figura 8).

As lamas terciárias, oriundas de processos terciários, englobam as lamas resultantes de processos físico-químicos para remoção de nutrientes como o azoto e o fósforo, desempenhando um papel pouco significativo na quantidade total de lamas produzida nas ETAR (Victor, 2010).

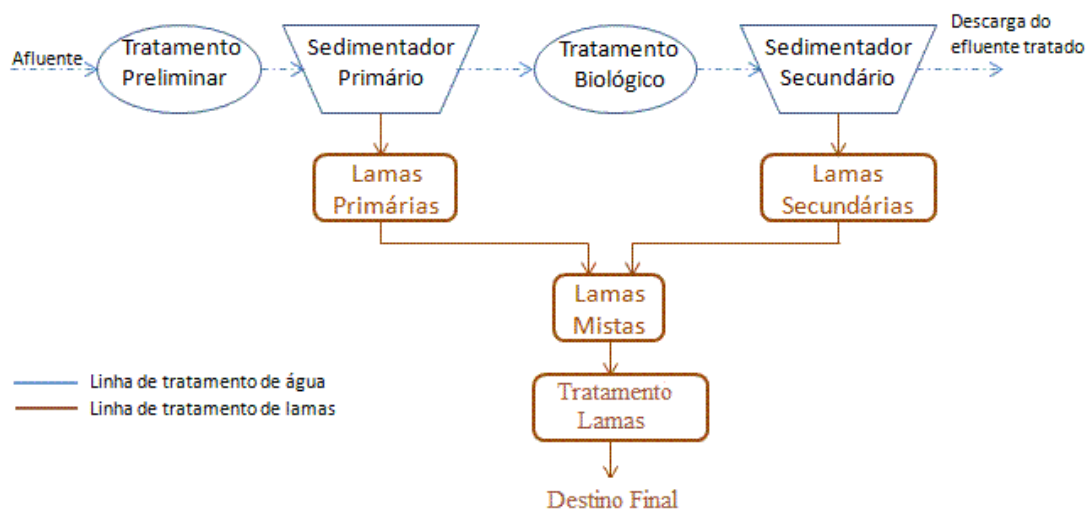


Figura 8 – Esquema típico da obtenção de lamas numa ETAR.

3.2. Composição

Na constituição das lamas de depuração entram substâncias orgânicas e minerais de natureza diversa e poderão estar presentes, em maior ou menor quantidade, diferentes organismos alguns dos quais patogénicos. A composição química pode ser variável de ETAR para ETAR, tendo variações sazonais como consequência da modificação na constituição dos efluentes que recebe ao longo do ano, dentro da própria ETAR.

Em peso seco, a matéria orgânica é o principal constituinte das lamas, representando cerca de 50 a 70% (Mendes, 2014). A matéria orgânica é fundamentalmente composta por matéria solúvel, sendo a maior parte biodegradável, como hidratos de

carbono, proteínas e lípidos, enquanto o restante deteriora-se lentamente em circunstâncias naturais, caso dos aminoácidos.

Uma das grandes vantagens das lamas reside no facto de serem constituídas por alguns nutrientes importantes, principalmente azoto e fósforo, resultantes especialmente das fases de nitrificação e desnitrificação que ocorrem nos processos de tratamento das águas residuais (Tchobanoglous, et al., 2003). Isto dá às lamas capacidades potenciais de fertilização, uma vez que estes elementos são essenciais para as plantas. Outros nutrientes como o potássio, cálcio, magnésio e enxofre, podem também estar presentes nas lamas, mas em menores quantidades. A Tabela 2 apresenta alguns valores para a composição química das lamas de depuração tratadas e não tratadas.

Tabela 2 – Composição química típica para lamas de depuração tratadas e não tratadas (Adaptado de (Tchobanoglous, et al., 2003)).

Parâmetro	Lamas Primárias Não Tratadas		Lamas Primárias Digeridas		Lamas Ativadas Não Tratadas
	Intervalo	Valor Típico	Intervalo	Valor Típico	Intervalo
	Matéria Seca Total (MST) %	5-9	6	2-5	4
Sólidos Voláteis (% de MST)	60-80	65	30-60	40	59-88
Proteínas (% de MST)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azoto (N, % de MST)	1,5-4,0	2,5	1,6-3,0	3	2,4-5,0
Fósforo (P ₂ O ₅ , % de MST)	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5	2,8-11,0
Potássio (K ₂ O, % de MST)	0-1	0,4	0-3	1	0,5-0,7
Ferro	2-4	2,5	3-8	4	
pH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8,0

As lamas além de possuírem constituintes valiosos, como a matéria orgânica e os nutrientes, podem igualmente conter, em maior ou menor quantidade, substâncias indesejáveis, como os metais pesados ou contaminantes orgânicos. A composição das lamas nestas substâncias é variável, sendo notoriamente mais baixa em lamas oriundas de águas residuais domésticas do que nas resultantes do tratamento de águas residuais industriais.

O destino final das lamas vai ser amplamente influenciado pelas suas concentrações de metais pesados. A legislação relativa à aplicação das lamas na agricultura, estabelece valores limite para alguns metais pesados, nomeadamente, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo e zinco, limites esses que não podem ser ultrapassados, de forma a não inviabilizar o seu uso na agricultura (Hsiau, et al., 1998). O seu potencial de bioacumulação através da cadeia alimentar cria preocupações com a saúde humana e com o ambiente.

De igual modo, devido à sua persistência no ambiente e toxicidade, há uma gama de micropoluentes orgânicos, normalmente existentes em reduzidas concentrações, que também conduz a tais preocupações. São exemplos as dioxinas, bifenilos policlorados (PCB) e os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) (Victor, 2010).

As lamas são também ricas em microrganismos, parte dos quais patogénicos, necessitando por isso de sofrer tratamentos adequados visando a sua higienização através da redução substancial ou da eliminação desses mesmos microrganismos patogénicos como vírus, bactérias e protozoários, suscetíveis de pôr em risco a saúde pública.

3.3. Principais Etapas de Tratamento

Muitos dos poluentes removidos das águas residuais são transferidos para as lamas, pelo que na sua composição irão constar diversos compostos que necessitam de ser considerados, tais como os anteriormente referidos metais pesados, compostos orgânicos e microrganismos patogénicos. Para diminuir os teores de alguns destes contaminantes, as

lamas são sujeitas a diversos tratamentos que têm também como objetivo a redução do teor de água e, conseqüentemente, do volume das lamas.

Estes tratamentos podem ser divididos em três fases essenciais: o espessamento, a desidratação e a estabilização. Em geral, é o tipo de utilização final que se pretenda dar às lamas que determina os métodos adotados (Tavares, 2007).

O processo de espessamento de lamas é realizado para reduzir o volume e aumentar o teor de sólidos, de forma a conseguir uma lama com a concentração adequada para os processos de desidratação seguintes. Esta conseqüente redução do volume das lamas torna o processo mais económico, uma vez que o volume do tanque de armazenamento pode ser menor, tal como os equipamentos de tratamento a jusante deste processo. Além disso, havendo menor volume de lamas a tratar, diminui a quantidade de compostos a aplicar nos tratamentos posteriores e a energia de bombagem necessária. Os processos de espessamento de lamas mais comuns incluem espessamento gravítico, espessamento por flotação com ar dissolvido e espessamento por centrifugação (Zhu, et al., 2012).

Por sua vez, a desidratação consiste na remoção de água das lamas com vista a uma maior redução de volume do que a obtida através do espessamento, podendo ser efetuada por via mecânica (filtros de vácuo e filtros prensa) ou através de processos naturais, como é a evaporação da água (leitos de secagem). A escolha da técnica a utilizar é função de um conjunto de fatores, particularmente, tipo de lamas, espaço disponível e condições climáticas.

A estabilização é um processo de alteração das lamas, visando principalmente a degradação biológica da matéria orgânica, através da conversação dos sólidos biodegradáveis em produtos finais não celulares, a redução dos odores, tornando as lamas menos agressivas para o ambiente, além de conduzir, geralmente, a uma diminuição do número de organismos patogénicos. Pode ser obtida através de processos biológicos (digestão anaeróbia ou digestão aeróbia), processos químicos (adição de cal) e processos físicos (pasteurização). Este processo é particularmente relevante para que o potencial fertilizante destas lamas possa ser aproveitado (Bahar, et al., 2016).

Na Tabela 3 apresenta-se de forma resumida o que foi anteriormente exposto sobre as principais etapas de tratamento das lamas.

Tabela 3 – Resumo das fases, processos e objetivos do tratamento de lamas (Adaptado de (Tavares, 2007)).

Fases	Processos	Objetivos
Espessamento	- Espessamento Gravítico	- Aumento do teor de sólidos - Diminuição do volume das lamas
	- Espessamento por Flotação	
	- Espessamento por Centrifugação	
Desidratação	- Filtros de Vácuo	- Diminuição do teor de humidade
	- Filtros Prensa	
	- Leitões de Secagem	
Estabilização	- Digestão Anaeróbia (processo biológico)	- Redução de odores - Destruição de organismos patogénicos
	- Adição de Cal (processo químico)	
	- Pasteurização (processo físico)	

Após tratamento, as lamas podem ser transportadas de modo mais seguro para um destino final adequado, tendo em consideração as características que estas apresentem.

3.4. Opções de Destino Final

Uma perfeita estratégia de gestão de resíduos estabelece, indiscutivelmente, como prioritária, a valorização das lamas resultantes das ETAR, ou seja, a sua reutilização para fins benéficos, em detrimento da sua deposição, ou seja, eliminação. O leque de opções para o destino final das lamas engloba uma série de alternativas que abrangem desde a utilização na agricultura, passando pela valorização energética, até à deposição em aterro como última alternativa.

3.4.1. Deposição em Aterro Sanitário

No que diz respeito à deposição em aterro, importa referir que esta opção deve ser considerada apenas em último caso, justificando-se apenas quando contenham metais pesados ou outras substâncias tóxicas. Caso se conclua que esta solução é a mais indicada

para a situação em questão deve garantir-se, para além da estabilização das lamas, visando diminuir os riscos de contaminação das águas subterrâneas e a produção de odores desagradáveis, uma eficaz e rígida monitorização de todo o processo, de forma a minimizar todas as eventuais ameaças (Victor, 2010).

Assim, em aterros onde seja necessário proteger as águas subterrâneas de contaminação com poluentes, a deposição das lamas deve ser efetuada em áreas previamente impermeabilizadas. As águas de escorrências superficiais e de drenagem das zonas onde foram depositadas lamas terão de ser sujeitas a tratamento.

Partindo desta necessidade de redução de matéria biodegradável nos aterros, no caso de não haver outra alternativa senão a deposição em aterro, deve ainda tentar-se a recuperação do biogás resultante da degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias. Segundo o Decreto-Lei nº 183/2009, este gás deve ser captado, tratado e utilizado, sempre que possível, para produção de energia.

3.4.2. Valorização Agrícola

Como já foi anteriormente referido, os tratamentos efetuados nas ETAR com o objetivo de diminuir a carga de matéria orgânica e de nutrientes como o azoto, fósforo e potássio nas águas residuais fazem com que parte destes elementos seja transferida para as lamas. Estes são elementos fundamentais para plantas e, portanto, essenciais para garantir a cadeia de abastecimento alimentar. Os desafios globais que enfrentamos, como o crescimento da população e a evolução para uma dieta mais rica em proteínas vegetais, exige que a produção agrícola aumente continuamente pelo que urge reaproveitar e reciclar os nutrientes presentes em resíduos, como as lamas de depuração (Coppens, et al., 2015). Para além disso, resolve-se o problema do seu destino final, permitindo ainda a diminuição da quantidade de fertilizantes inorgânicos aplicados para garantir um desenvolvimento saudável das culturas.

A aplicação de lamas nos solos agrícolas pode ser bastante vantajosa, visto que para além de aportar nutrientes, também pode desempenhar um papel na correção do pH no caso de solos ácidos, aumentar a porosidade dos solos e melhorar a sua capacidade de retenção de água (Labrecque, et al., 1998).

Todavia, essa utilização não está isenta de certos riscos tais como a concentração de nutrientes em excesso que possam provocar desequilíbrios no ecossistema, acumulação de metais pesados, introdução de microrganismos patogénicos, ou a acumulação de micropoluentes orgânicos. É assim necessário submeter previamente as lamas a tratamentos que reduzam o seu potencial poluente, para que da sua utilização agrícola não resulte a contaminação dos solos, lençóis freáticos e cursos de água.

No que diz respeito à situação particular das indústrias vínica e de destilação de resíduos e subprodutos da vinicultura, a quantidade crescente de resíduos orgânicos gerados constituem uma preocupação ambiental, principalmente devido às características específicas dessas lamas (alta concentração de compostos fitotóxicos e antibacterianos) bem como da sua produção sazonal, que torna a sua gestão bastante difícil. Os resíduos de destilarias e da vinicultura são também caracterizados geralmente por uma condutividade elétrica baixa, valores elevados de matéria orgânica, concentrações baixas em metais pesados, bem como concentrações consideráveis de fósforo e potássio que beneficia o seu potencial uso como fertilizantes dos solos (Bustamante, et al., 2008).

3.4.3. Compostagem

A compostagem é aplicada a resíduos com elevado teor de matéria orgânica, como é o caso da maioria das lamas de depuração de efluentes. Neste método de valorização de resíduos sólidos, a componente orgânica é decomposta biologicamente em condições aeróbias controladas. Para garantir a eficiência do processo, para além da temperatura, devem monitorizar-se também outros parâmetros, nomeadamente a quantidade de oxigénio, granulometria e porosidade do material (de forma a garantir o arejamento da mistura), a humidade (considerada ótima na gama de 50 a 60%), e a relação entre o teor carbono/azoto (C/N), que deve ser aproximadamente 30.

O composto obtido pode ser utilizado para fins produtivos, melhorando a qualidade do solo, quando aplicado como fertilizante. Este fornece grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes (como azoto e potássio) ao solo, melhora a sua textura e eleva a capacidade de troca catiónica do solo (uma indicação da capacidade do solo de reter nutrientes), apresentando assim todas as características de um bom fertilizante orgânico (Guerrini, et al., 2017).

É um método muito vantajoso, uma vez que se forem atingidas temperaturas suficientemente elevadas, obter-se-á a higienização do material. A compostagem reduz os microrganismos patogénicos tais como bactérias e vírus a níveis não detetáveis, se a temperatura do composto for mantida superior a 55 °C durante 15 dias ou mais (EPA, 2002). Contudo, à grande escala, este processo pode tornar-se dispendioso, devido aos custos energéticos e de manutenção associados: para manter os níveis de oxigénio adequados, o processo poderá necessitar de arejamento mecânico; além disso, se não se conseguir atingir a temperatura desejada poderá ser necessário o fornecimento de mais energia térmica para o sistema.

Existem três métodos de compostagem para as lamas de depuração. Cada método envolve a mistura das lamas com um agente que acrescenta volume e aumenta a porosidade. A mistura pode ser efetuada com aparas de madeira ou serradura, mas muitos outros materiais podem ser utilizados (EPA, 2002). A mistura resultante é depois empilhada, ou colocada num reator. Os três métodos são apresentados resumidamente em seguida.

- Pilha estática arejada – As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume e empilhada sobre um leito de tubos através do qual ocorre o arejamento do material de compostagem (Figura 9).

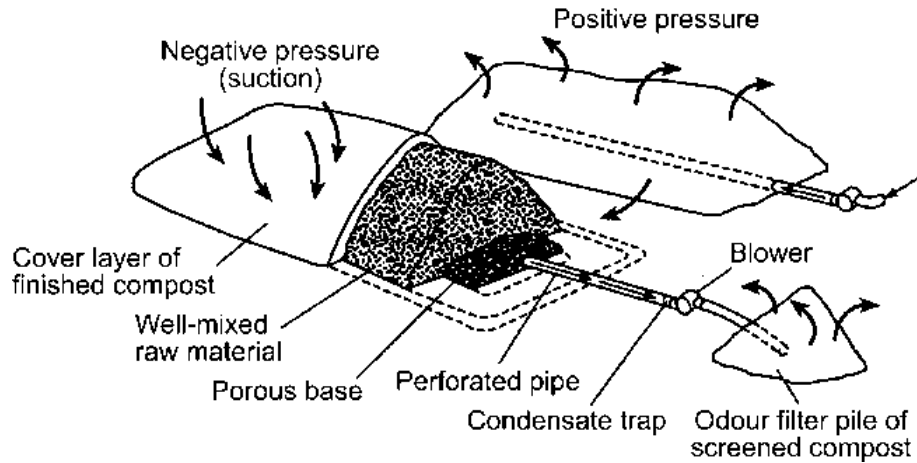


Figura 9 – Representação esquemática de uma pilha estática arejada (FAO, 2003).

- Pilha estática (*Windrow*) - As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume e empilhados em longas filas. Porque não há tubulação para fornecer ar às pilhas, estas tem de ser mecanicamente remexidas para promover a incorporação de oxigénio. Esta mistura é também essencial para mover as superfícies externas do material para o interior, de forma a serem submetidas às temperaturas mais elevadas (Figura 10).



Figura 10 – Exemplo de uma pilha estática a ser remexida mecanicamente (Cocoa Corporation, 2017).

- Em reatores fechados (*In-Vessel*) - As lamas desidratadas são misturadas com o agente de volume e introduzidas num reator. São utilizados dispositivos para arejar, misturar e mover o produto através do equipamento para o ponto de descarga. Após

a compostagem ativa, o produto acabado é normalmente armazenado numa pilha para uma estabilização adicional (Figura 11).

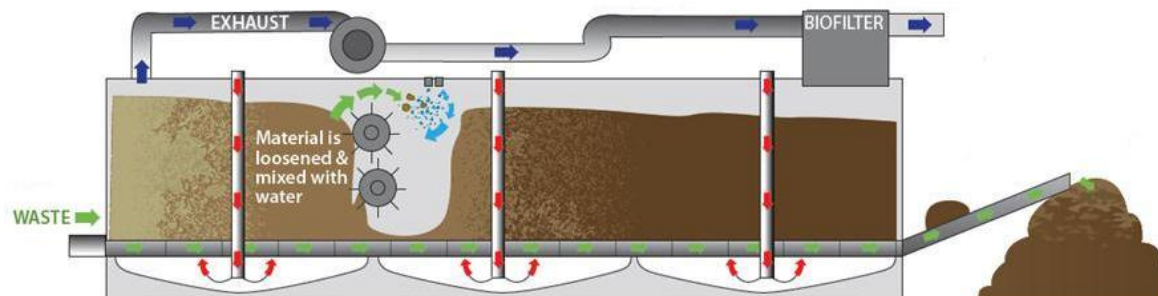


Figura 11 – Representação esquemática de um reator para compostagem (Ohio University, 2017).

3.4.4. Incineração

Neste processo, a fração orgânica presente nas lamas é transformada em dióxido de carbono, água e energia, que pode ser recuperada no processo. A combustão das lamas permite ainda uma redução substancial do volume para cerca de 90% do volume inicial e também a eliminação de microrganismos patogénicos, devido às temperaturas elevadas que se atingem no processo (superiores a 850 °C).

Este processo pode ser uma solução viável em casos específicos de grandes áreas urbanas, onde as distâncias para locais de deposição das lamas tornam o seu transporte muito dispendioso, ou onde existam muitas restrições a outro tipo de aplicação (Garrido-Baserba, et al., 2015).

No entanto, a incineração acarreta alguns riscos ambientais devido à emissão de substâncias poluentes. A incineração produz emissões gasosas nocivas (contendo, entre outras, dioxinas e furanos) e cinzas (que podem conter metais pesados) (Kelessidis, et al., 2012). Nesse sentido, esta atividade é regulamentada por legislação (Diretiva n.º 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de novembro de 2010), que tem como objetivo definir as condições de funcionamento, requisitos técnicos e valores limite de emissão, monitorizando a emissão de gases para a atmosfera, resíduos resultantes do processo e a descarga de águas residuais.

Não obstante, em muitos países do norte da Europa, a co-incineração é uma das principais opções no destino final das lamas. Nesta utilização, as lamas possibilitam a recuperação da energia contida na matéria, por meio da sua conversão em calor e energia elétrica. Além disso, uma potencial solução para as cinzas das lamas de depuração, passa pela sua inclusão na matriz de materiais de construção, nomeadamente no cimento, onde podem ser estabilizadas e solidificadas (Pavlík, et al., 2016).

Apesar do processo de incineração ser encarado por alguns autores como uma alternativa para o destino final das lamas, ele também pode ser visto como uma forma de tratamento, uma vez que, no final do processo resulta um resíduo, que, para além de ter sofrido uma redução de volume, encontra-se estabilizado. Sendo encarado dessa forma, os resíduos resultantes devem ser posteriormente encaminhados para um dos destinos finais já mencionados.

3.4.5. Processos Térmicos Emergentes

Ultimamente têm sido propostas várias tecnologias alternativas, oferecendo novas opções para o destino final das lamas, potenciadas especialmente pela diminuição da disponibilidade de espaço em aterros e pelo aumento dos custos associados à deposição nos mesmos (Fytli, et al., 2008). Entre estas novas tecnologias destacam-se os processos térmicos, os quais apresentam potenciais vantagens como redução de volume e peso, destruição de compostos orgânicos tóxicos e recuperação de energia. São exemplo destes processos a pirólise e a gaseificação.

A pirólise é um processo no qual ocorre a decomposição térmica de materiais em atmosfera inerte (ausência de oxigénio), obtendo-se um gás (que contém gases não-condensáveis de baixa massa molecular), um produto líquido (que contém compostos voláteis condensáveis) e um resíduo sólido (carvão). Em comparação com o processo de incineração, que é muito exotérmico, a pirólise é significativamente endotérmica, da ordem de 100 kJ kg^{-1} (Samolada, et al., 2014).

O rendimento do processo é afetado pelas condições de operação, incluindo a temperatura, pressão e tempo de residência no reator, bem como pelas características das lamas. A pirólise rápida, também denominada pirólise *flash*, é realizada a altas taxas de aquecimento, temperaturas moderadas (próximas de 500 °C), com tempos de residência curtos e remoção rápida dos vapores. O principal produto obtido neste processo é um líquido designado por bio-óleo, que pode ser aplicado como combustível e também como fonte de produtos químicos valiosos. As principais barreiras à aplicação da pirólise são a viabilidade económica do processo e a relativa complexidade do equipamento de processamento (Samolada, et al., 2014).

A gaseificação é o processo térmico durante o qual os materiais orgânicos são convertidos num gás, designado por gás de síntese ou *syngas*, e cinzas. Neste processo é necessário fornecer o comburente da reação, verificando-se uma combustão parcial, ou seja, apenas é utilizado entre 20% e 40% do oxigénio que seria necessário para a combustão total. Deste modo, a temperaturas altas (entre 650 e 900 °C) a fração orgânica das lamas é decomposta, resultando num gás maioritariamente constituído por hidrogénio, monóxido de carbono e metano. Atualmente, os principais obstáculos à utilização desta tecnologia são a necessidade de ser aplicada em larga escala e o facto do mercado do gás de síntese ainda se encontrar pouco desenvolvido (Samolada, et al., 2014). O gás de síntese pode ser posteriormente enriquecido em hidrogénio, ou ser usado para a produção de hidrocarbonetos pelo processo de Fischer-Tropsch (Loosdrecht, et al., 2012).

4. Legislação Referente às Lamas de Depuração

Com o objetivo de assegurar a proteção do meio ambiente e da saúde pública existe legislação europeia e nacional aplicável à gestão das lamas das ETAR, e que define claramente as competências e responsabilidades das entidades licenciadoras, fiscalizadoras, produtoras e dos operadores na gestão deste material (Christodoulou, et al., 2016). Comparativamente com os restantes países da União Europeia, a legislação nacional é uma das mais restritivas em matéria de valorização agrícola, nomeadamente estabelecendo os critérios microbiológicos mais restritivos (Silva, 2017). Em seguida, são apresentados alguns dos diplomas legislativos existentes a nível europeu e nacional sobre esta temática.

4.1. Diretiva n.º 86/278/CEE

A Diretiva Comunitária n.º 86/278/CEE foi adotada há mais de 25 anos, com vista a regulamentar a utilização das lamas de depuração na agricultura. De um modo geral, estabelece as condições de aplicação e as quantidades que podem ser incorporados anualmente nos solos. Entre as principais disposições desta Diretiva destacam-se as seguintes:

- Definição de “lamas” (lamas de depuração, lamas residuais de fossas sépticas e outras lamas), “tratamento” (tratamento biológico, químico ou térmico, armazenagem a longo prazo ou qualquer outro método adequado, de modo a reduzir, significativamente, o seu poder de fermentação e os inconvenientes sanitários da sua utilização) e “utilização” (disseminação das lamas sobre o solo ou qualquer outra aplicação das lamas sobre e no solo) (artigo 2º);
- Valores relativos às concentrações de metais pesados nos solos recetores de lamas, às concentrações de metais pesados nas lamas e às quantidades máximas anuais destes metais que podem ser introduzidas nos solos de utilização agrícola (artigo 4º);
- Proibição da utilização de lamas sempre que a concentração de um ou vários metais pesados nos solos ultrapasse os valores-limite (artigo 5º);
- Obrigatoriedade do tratamento das lamas (artigo 6º);

- Proibição da aplicação das lamas em determinadas culturas e antes de expirar um certo prazo (artigo 7º);
- A utilização das lamas deve ter em conta as necessidades nutricionais das plantas (artigo 8º);
- Métodos de referência de amostragem e de análise dos solos e das lamas (artigo 9º);
- Obrigação de os estados-membros manterem registos atualizados sobre as quantidades de lamas produzidas e as entregues à agricultura, os locais de utilização das lamas e outras informações (artigo 10º) (Conselho da União Europeia, 1986);

A diretiva encontra-se atualmente sob revisão. As alterações que devem ser efetuadas dizem respeito principalmente à necessidade de tratamento das lamas antes do seu uso, a definição de limites mais baixos na concentração de metais bem como a introdução de novos critérios (por exemplo a concentração de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) (Inglezakis, et al., 2014).

4.2. Decreto-Lei n.º 118/2006

O Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de junho, estabeleceu o regime jurídico da utilização agrícola das lamas de depuração e demais legislação regulamentar, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de junho de 1986, relativa à proteção do ambiente e, em especial, dos solos na utilização agrícola de lamas de depuração (MAOTDR, 2006).

4.3. Decreto-Lei n.º 183/2009

O Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de agosto, transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de setembro, e aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, do Conselho, de 19 de dezembro de 2002 (MAOTDR, 2009).

Estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, e os requisitos gerais a observar na conceção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, incluindo as características técnicas específicas para cada classe de aterros.

Este diploma tem por objetivos evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre o ambiente da deposição de resíduos em aterro, quer à escala local, em especial a poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana (APA, 2017).

4.4. Decreto-Lei n.º 276/2009

O Decreto-Lei n.º 276/2009, de 02 de outubro, é o documento legislativo atualmente em vigor em Portugal. Este atualiza o Decreto-Lei n.º 118/2006, por forma a adequar e tornar mais simples o procedimento de licenciamento da utilização agrícola das lamas de depuração nele previsto e a harmonizá-lo com os outros regimes jurídicos entretanto aprovados.

O diploma 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. A alteração mais significativa introduzida por este diploma consiste na já mencionada 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.

Alguns dos padrões de qualidade estabelecidos por esta legislação são os que se referem aos valores limite de microrganismos e alguns metais pesados nas lamas destinadas à agricultura (Tabela 4 e Tabela 5). Quando a concentração de um ou vários metais pesados de uma lama ultrapassa estes valores-limite, ela não poderá ser utilizada na fertilização do solo e deverá ter outro destino final que não esse.

Tabela 4 – Valores limite de microrganismos nas lamas destinadas à agricultura (MAOTDR, 2009).

Microrganismo	Valores limite
<i>Salmonella</i> spp.	Ausente em 50 g de material original
<i>Escherichia coli</i>	< 1000 células/g de matéria fresca

Tabela 5 – Valores limite de concentração de metais pesados nas lamas destinadas à agricultura (MAOTDR, 2009).

Parâmetro	Valores limite (mg/kg de matéria seca)
Cádmio	20
Cobre	1000
Níquel	300
Chumbo	750
Zinco	2500
Mercúrio	16
Crómio	1000

As lamas produzidas na SLD incluem-se na alínea v) do ponto b) do artigo 3.º, intituladas de lamas provenientes do tratamento de efluentes da produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas, excluindo café, chá e cacau, de acordo com a classificação da Lista Europeia de Resíduos (LER) 020705, sendo designadas no documento por lamas de composição similar.

4.5. Decreto-Lei n.º 73/2011

O Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, que estabelece a terceira alteração do Decreto-Lei n.º 178/2006 de 5 de setembro, e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos (MAOTDR, 2011), prevê, no seu enquadramento legislativo:

- Reforço da prevenção da produção de resíduos e fomentar a sua reutilização e reciclagem, promover o pleno aproveitamento do novo mercado organizado de resíduos, como forma de consolidar a valorização dos resíduos, com vantagens para os agentes económicos, bem como estimular o aproveitamento de resíduos específicos com elevado potencial de valorização;
- Clarifica conceitos-chave como as definições de resíduo, prevenção, reutilização, preparação para a reutilização, tratamento e reciclagem, e a distinção entre os conceitos de valorização e eliminação de resíduos, prevê-se a aprovação de programas de prevenção e estabelecem-se metas de preparação para reutilização, reciclagem e outras formas de valorização material de resíduos, a cumprir até 2020;
- Incentivo à reciclagem que permita o cumprimento destas metas, e de preservação dos recursos naturais, prevista a utilização de pelo menos 5% de materiais reciclados em empreitadas de obras públicas;
- Definição de requisitos para que substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo possam ser considerados subprodutos e não resíduos;
- Critérios para que determinados subprodutos industriais deixem de ter o estatuto de resíduo;
- Introduzido o mecanismo da responsabilidade alargada do produtor, tendo em conta o ciclo de vida dos produtos e materiais e não apenas a fase de fim de vida, com as inerentes vantagens do ponto de vista da utilização eficiente dos recursos e do impacto ambiental (APA, 2017).

4.6. Decreto-Lei n.º 103/2015

O Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de junho, estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes, assegurando a execução na ordem jurídica interna das obrigações decorrentes do Regulamento (CE) n.º 2003/2003, de 13 de outubro de 2003, relativo aos adubos (Ministério da Economia, 2015).

5. Produção de Lamas

Para que o problema da gestão de lamas possa ser gerido de forma eficiente é imprescindível ter uma visão geral da quantidade de lamas produzida e da percentagem que é encaminhada para cada uma das soluções de destino final. Além disso, é igualmente importante, embora difícil, tentar prever o futuro da produção de lamas e respetivo destino final. De forma sucinta apresenta-se de seguida alguns dados relativos à produção de lamas e respetiva evolução nos próximos anos, na União Europeia e em Portugal.

5.1. Situação na União Europeia

A descarga das lamas na água, proibida em 1998, pela Comunidade Europeia (CE), deixou de ser praticada desde então, embora pontualmente ainda surjam alguns casos. A opção pela valorização energética tem evoluído ao longo dos anos e a deposição em aterro tem sido mais ou menos constante, prevendo-se que tenda a diminuir (Mendes, 2014).

Dados estatísticos, como a quantidade de lamas produzidas na União Europeia ou a quantidade de lamas valorizadas para a agricultura, constam em relatórios da Comissão Europeia. Estes baseiam-se nas informações fornecidas pelos Estados-Membros, complementadas pelas conclusões de estudos adicionais da Comissão e por estatísticas internas. O último relatório elaborado é referente ao período de 2010-2012. Neste relatório constam os valores de produção de lamas de cada Estado-Membro bem como as quantidades de lamas utilizadas na agricultura (Tabela 6).

Verifica-se que a Alemanha é o maior produtor de lamas, seguida pelo Reino Unido e pela França. Além disso, é possível observar que, para além desses países, existem vários outros que produzem mais de 500 quilotoneladas (de matéria seca) anualmente, tais como a Espanha e a Itália. Estimativas apontam que estes cinco países mencionados sejam responsáveis, em conjunto, por aproximadamente 75% do total de lamas produzido na Europa (Kacprzak, et al., 2017).

Tabela 6 – Quantidade de lamas produzidas em alguns países da UE, no período 2010-2012, e respetiva percentagem utilizada na agricultura (Adaptado de (Comissão Europeia, 2017)).

Estado-Membro	2010		2011		2012	
Áustria	117	28%	119	95%	35	37%
República Checa	163	17%	164	13%	162	22%
França	1127	69%	1095	72%	1124	70%
Alemanha	1775	34%	1837	33%	1743	33%
Itália	840	30%	852	35%	654	42%
Holanda	524	5%	514	4%	510	4%
Polónia	533	18%	567	20%	562	2%
Portugal	163	3%	140	16%	285	10%
Espanha	1087	82%	1059	82%	1083	80%
Suécia	211	23%	214	21%	207	23%
Reino Unido	1422	75%	1435	75%	1152	72%

* A quantidade de lamas produzidas encontra-se expressa em quilotoneladas de matéria seca.

As estimativas relativas à União Europeia apontam para um ligeiro aumento da produção de lamas nos próximos anos (Tabela 7). No entanto, este aumento da produção de lamas não será comum a todos os países, havendo por parte da maioria uma tendência de estabilização. A quantidade do resíduo destinado ao encaminhamento para incineração seguirá a tendência de ligeira subida, convergindo com a perspectiva de redução da fração destinada aos aterros, que deverá reduzir o seu valor para metade. Portugal, em particular, acompanhará essa propensão comunitária para o aumento percentual das quantidades de lama destinadas a valorização energética, sendo expectável a redução considerável, 15%, da parcela de aterro, seguido ainda de um ligeiro aumento, 5%, nos destinos não tradicionais.

Tabela 7 – Estimativa da produção anual de lamas de ETAR e opções de escoamento, para os anos de 2010 e 2020 (Adaptado de (Comissão Europeia, 2008)).

Estado-Membro	2010					2020				
	Lamas Totais*	Valor. Agrícola (%)	Inceneração (%)	Aterro (%)	Outros (%)	Lamas Totais*	Valor. Agrícola (%)	Inceneração (%)	Aterro (%)	Outros (%)
França	1300	65	15	5	15	1400	75	15	5	5
Alemanha	2000	30	50		20	2000	25	50		25
Itália	1500	25	20	25	30	1500	35	30	5	30
Portugal	420	50	30	20		750	50	40	5	5
Espanha	1280	65	10	20	5	1280	70	25	5	
Reino Unido	1640	70	20		10	1640	65	25		10
EU-27 Total	11 564	42	27	14	16	13 047	44	32	7	16

*A quantidade de lamas produzidas encontra-se expressa em quilotoneladas de matéria seca.

5.2. Situação em Portugal

A nível nacional, os dados relativos à produção e valorização de lamas de depuração constam em relatórios da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Estes baseiam-se nas informações reportadas pelos produtores e operadores de gestão de resíduos, bem como nas fornecidas pelas Direções Regionais de Agricultura e Pescas (DRAP) relativas às quantidades de lamas efetivamente aplicadas no solo. O último relatório elaborado é referente ao período de 2010-2012, do qual foram extraídos os resultados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Quantidade de lamas produzidas e de lamas utilizadas na agricultura a nível nacional, no período 2010-2012 (Adaptado de (APA, 2012)).

	Matéria seca (toneladas/ano)		
	2010*	2011*	2012*
Lamas produzidas pelas estações de tratamento:			
Urbanas	98 369,73	83 728,17	119 221,46
Industriais	64 310,34	56 285,04	165 554,64
Total	162 680,07	140 013,21	284 776,10
Lamas utilizadas na agricultura:			
Urbanas	3490,96	14 693,33	21 252,96
Industriais	2155,80	8394,66	7918,87
Total	5646,76	23 087,98	29 171,83

*Foi utilizado um valor médio estimado de matéria seca de 20%.

Verifica-se que houve um aumento substancial da produção de lamas de depuração assim como da sua valorização para a agricultura do ano 2010 para o ano 2012, o que pode significar que há uma aceitação cada vez maior deste resíduo enquanto fertilizante dos solos. No ano 2011 verificou-se um decréscimo dos valores o que não significa necessariamente uma menor produção de lamas, pode significar que algumas entidades gestoras não comunicaram os dados obtidos.

Em Portugal têm sido realizados investimentos de modo a melhorar e otimizar a recolha e o tratamento de águas residuais, o que se traduz no aumento da produção de lamas de depuração. Todavia, a melhoria das ETAR, com o incremento de mais fases de tratamento e o melhoramento dos mesmos, vai permitir uma melhor monitorização das lamas fazendo com que estas cumpram os requisitos indicados na legislação para que possam ser valorizadas (Mendes, 2014).

Além disso, com o culminar de todas as obras, encontrando-se efetivamente todos os planos e diretivas em prática, a produção de lamas tenderá a estabilizar sofrendo, eventualmente, algum acréscimo com um possível aumento da população.

6. Conclusão

O estágio realizado permitiu-me um contacto bastante próximo com a realidade industrial e a integração/consolidação de conhecimentos quer a nível de processos químicos, físicos e biológicos, quer a nível de técnicas laboratoriais, revelando-se assim uma valiosa experiência. Deste modo, os objetivos gerais estabelecidos foram cumpridos.

Relativamente ao objetivo específico, que consistia na elaboração de um breve estudo centralizado na identificação das possíveis vias de valorização das lamas de depuração produzidas na SLD, no decorrer da sua realização foi possível adquirir vários conhecimentos a nível técnico, legislativo e estatístico sobre esta temática. Deste modo, são apresentadas em seguida as principais conclusões a retirar do estudo desenvolvido.

Atualmente a União Europeia, e particularmente Portugal, enfrentam um desafio extremamente importante e urgente: resolver definitivamente a questão relacionada com uma correta gestão de lamas, ou seja, o tratamento, transporte e deposição final das lamas provenientes do tratamento de águas residuais pelas ETAR. A nível nacional, nos últimos anos têm sido realizados investimentos de modo a melhorar e otimizar a recolha e o tratamento de águas residuais, o que se traduz no aumento da produção de lamas de depuração.

Por forma a encaminhar as lamas para o destino final mais apropriado, é crucial ter conhecimento das características destas, que por sua vez dependem da composição do efluente tratado, da tecnologia aplicada e da fase da ETAR em que foram originadas as lamas.

A aplicação de lamas nos solos é uma opção de destino final bastante interessante devido aos potenciais benefícios, não só em termos de fertilização dos solos onde as lamas são aplicadas, mas também por poderem melhorar as propriedades físicas desses solos, tais como a porosidade, e capacidade de retenção de água.

Do ponto de vista das empresas produtoras de lamas, a valorização agrícola, quando aplicável, conduz a vantagens económicas, pois pode significar a transformação de custos em receitas. Uma vez que as lamas obtidas da destilação de resíduos e subprodutos da vinicultura contêm valores reduzidos de metais pesados, que normalmente são o maior entrave à valorização agrícola das lamas, esta é uma excelente oportunidade para a SLD.

Em relação às outras soluções, prevê-se que a deposição em aterro seja uma alternativa que irá diminuir, significativamente, nos próximos anos, devido a fatores limitativos, designadamente, os custos elevados, o facto dos espaços destinados a aterro serem alvo de uma grande competição, e o aumento de restrições ambientais. Perante este cenário, as soluções que serão certamente fortalecidas, quando a valorização agrícola não for viável, são a incineração de lamas e a compostagem.

Concluindo, pode seguramente afirmar-se que a utilização das lamas na agricultura apresenta-se, atualmente, como a solução mais vantajosa e sustentável para o destino final de lamas de ETAR. No entanto, é extremamente importante voltar a salientar que esta opção exige, obrigatoriamente, uma gestão (tratamento, transporte e aplicação) cuidadosa e rigorosa, baseada numa legislação que garanta a proteção dos solos, das culturas e da saúde pública.

7. Referências Bibliográficas

- APA. 2017.** Licenciamento - Deposição de Resíduos em Aterro. *Agência Portuguesa do Ambiente*. [Online] 2017. [Citação: 15 de junho de 2017.] <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=943&sub3ref=945>.
- . **2012.** *Relatório sobre a aplicação da Directiva 94/741/CE, de 24 de outubro de 1994*. s.l. : Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2012.
- . **2017.** Resíduos. *Agência Portuguesa do Ambiente*. [Online] 2017. [Citação: 16 de junho de 2017.] <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84>.
- Bahar, S. e Ciggin, A. 2016.** A simple kinetic modeling approach for aerobic stabilization of real waste activated sludge. *Chem. Eng. J.* novembro de 2016, Vol. 303, pp. 194-201.
- Bustamante, M., et al. 2008.** Agrochemical characterisation of the solid by-products and residues from the winery and distillery industry. *Waste Manag.* 2008, Vol. 28, pp. 372-380.
- Castro, E. 2014.** *Conceção de um Guia de Procedimentos para a Implementação de um Sistema de Gestão de Lamas*. Instituto Politécnico de Tomar. 2014. Relatório de Estágio de Mestrado.
- Christodoulou, A. e Stamatelatu, K. 2016.** Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. *Water Sci. Technol.* 15 de fevereiro de 2016, Vol. 73, pp. 453-462.
- Cocoa Corporation. 2017.** The Cocoa Process. *Cocoa - Building Healthy Soil for the Future*. [Online] 2017. [Citação: 27 de outubro de 2017.] <http://www.cocoa-corp.com/cocoa-process>.
- Comissão Europeia. 2008.** *Environmental, Economic and Social Impacts of the Use of Sewage Sludge on Land*. 2008. Final Report, Part I.
- . **2017.** *Report on the implementation of EU waste legislation for the period 2010-2012*. 2017.
- Conselho da União Europeia. 1986.** *Directiva 86/278/CEE*. 12 de junho de 1986.
- Coppens, J., et al. 2015.** *The nitrogen and phosphorus budget of Flanders: a tool for efficient resource management*. s.l. : Resource Recovery Conference (RR-2015): Bridging towards the Chemical Industry, 2015.
- Dabul, I. 1963.** *Recovery of tartaric acid, as the calcium salt, from wine dregs*. *Patente US3114770-A*. EUA, 17 de dezembro de 1963.
- EPA. 2002.** *Use of Composting for Biosolids Management*. Washington, D.C. : United States Environmental Protection Agency, 2002.

FAO. 2003. On-Farm Composting Methods. *FAO - Corporate Document Repository*. [Online] Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2003. [Citação: 27 de outubro de 2017.] <http://www.fao.org/docrep/007/y5104e/y5104e07.htm#bm07>.

Fytili, D. e Zabaniotou, A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* janeiro de 2008, Vol. 12, pp. 116-140.

Galanakis, C. 2017. *Handbook of Grape Processing By-Products: Sustainable Solutions*. 1ª Edição. Londres : Academic Press, 2017. p. 197.

Garrido-Baserba, M., et al. 2015. Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. *J. Clean. Prod.* novembro de 2015, Vol. 107, pp. 410-419.

Gonçalves, L., et al. 2010. Determination of Free and Total Sulfites in Wine using an Automatic Flow Injection Analysis System with Voltammetric Detection. *Food Addit. Contam.* fevereiro de 2010, Vol. 27, pp. 175-180.

Guerrini, I., et al. 2017. Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. *Urban For. Urban Green.* março de 2017, Vol. 22, pp. 93-104.

Hsiau, P. e Lo, S. 1998. Extractabilities of heavy metals in chemically-fixed sewage sludges. *J. Hazard. Mater.* fevereiro de 1998, Vol. 58, pp. 73-82.

IHS Markit. 2017. Tartaric Acid. *Chemical Economics Handbook*. [Online] janeiro de 2017. [Citação: 10 de maio de 2017.] <https://www.ihc.com/products/tartaric-acid-chemical-economics-handbook.html>.

Inglezakis, V., et al. 2014. European Union legislation on sewage sludge management. *Fresen. Environ. Bull.* janeiro de 2014, Vol. 23, pp. 635-639.

Kacprzak, M., et al. 2017. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environ. Res.* julho de 2017, Vol. 156, pp. 39-46.

Kelessidis, A. e Stasinakis, A. 2012. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Manag.* junho de 2012, Vol. 32, pp. 1186-1195.

Kularatne, K., Dissanayake, D. e Mahanama, K. 2003. Contribution of dissolved sulfates and sulfites in hydrogen sulfide emission from stagnant water bodies in Sri Lanka. *Chemosphere.* agosto de 2003, Vol. 52, pp. 901-907.

Labrecque, M., Teodorescu, T. e Daigle, S. 1998. Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics. *Can. J. For. Res.* 1998, Vol. 28, pp. 1621-1635.

Loosdrecht, J. e Niemantsverdriet, H. 2012. Synthetic Gas to Hydrogen, Methanol, and Synthetic Fuels. [ed.] R. Schlögl. *Chemical Energy Storage*. Berlim : De Gruyter, 2012, pp. 443-458.

MAOTDR. 2006. *Decreto-Lei n.º 118/2006*. [Diário da República n.º 118/2006, Série I-A de 2006-06-21] 21 de junho de 2006.

—, **2009.** *Decreto-Lei n.º 183/2009*. [Diário da República n.º 153/2009, Série I de 2009-08-10] 10 de agosto de 2009.

—, **2009.** *Decreto-Lei n.º 276/2009*. [Diário da República n.º 192/2009, Série I de 2009-10-02] 2 de outubro de 2009.

—, **2011.** *Decreto-Lei n.º 73/2011*. [Diário da República n.º 116/2011, Série I de 2011-06-17] 17 de junho de 2011.

Mendes, S. 2014. *Valorização de lamas de tratamento de águas residuais urbanas para utilização agrícola*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2014. Dissertação de Mestrado.

Ministério da Economia. 2015. *Decreto-Lei n.º 103/2015*. [Diário da República n.º 114/2015, Série I de 2015-06-15] 15 de junho de 2015.

Ohio University. 2017. Office of Sustainability - Compost Facility. *Ohio University*. [Online] 2017. [Citação: 27 de outubro de 2017.] <https://www.ohio.edu/sustainability/programs/compost-facility.cfm>.

Pavlík, Z., et al. 2016. Energy-efficient thermal treatment of sewage sludge for its application in blended cements. *J. Clean. Prod.* janeiro de 2016, Vol. 112, pp. 409-419.

Petrochem. 2017. Tratamento de Água de Caldeiras. [Online] 2017. [Citação: 5 de maio de 2017.] <http://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/tratamento-da-agua-de-caldeiras/>.

Real Tech. 2017. Parameters: COD. [Online] 2017. [Citação: 24 de maio de 2017.] <https://realtechwater.com/chemical-oxygen-demand/>.

Rebelo, M. 2007. Noções práticas para a condução de geradores de vapor. Lisboa : Direção Regional de Lisboa e Vale do Tejo do Ministério da Economia e Inovação, 2007.

Rein, P. 1995. A comparison of cane diffusion and milling. *Proceedings of the South African Sugar Technology Association*. 1995, Vol. 69, pp. 196–200.

Samolada, M. e Zabaniotou, A. 2014. Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Manag.* fevereiro de 2014, Vol. 34, pp. 411–420.

- Silva, L. 2003.** Caracterização dos subprodutos da vinificação. *Millenium - Revista do Instituto Superior Politécnico de Viseu*. outubro de 2003, Vol. 28, pp. 123-133.
- Silva, N. 2017.** *Potencialidade da valorização das lamas de depuração produzidas nas ETAR do Algarve*. Universidade do Algarve. 2017. Dissertação de Mestrado.
- Sousa, E. 2001.** *Noções Sobre Qualidade da Água*. Lisboa : Instituto Superior Técnico, 2001.
- Spirax Sarco. 2017.** Shell Boilers. [Online] 2017. [Citação: 4 de maio de 2017.] <http://www.spiraxsarco.com/Resources/Pages/Steam-Engineering-Tutorials/the-boiler-house/shell-boilers.aspx>.
- Szarblewski, M., Schneider, R. e Machado, E. 2012.** Métodos para a Remoção de Sulfeto de Hidrogénio de Efluentes Gasosos Aplicáveis a Reatores Anaeróbios. *Rev. Jovem Pesqui.* 2012, Vol. 1, pp. 64-74.
- Tavares, P. 2007.** *Optimização da Gestão de Lamas de ETAR numa Perspectiva Regional*. Universidade de Coimbra. 2007. Tese de Doutoramento.
- Tchobanoglous, G., et al. 2003.** *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4^a Edição. Nova Iorque : McGraw-Hill Education, 2003.
- Teixeira, L., Andrade, S. e Guiné, R. 2008.** Projecto industrial de uma adega e centro de aproveitamento de subprodutos. *Millenium - Revista do Instituto Superior Politécnico de Viseu*. abril de 2008, Vol. 34, pp. 323-333.
- Uggetti, E., et al. 2010.** Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresour. Technol.* maio de 2010, Vol. 101, pp. 2905-2912.
- Victor, A. 2010.** *Valorização Agrícola de Lamas de ETAR: Enquadramento e Perspectivas Futuras*. Universidade de Coimbra. 2010. Dissertação de Mestrado.
- Zhu, H., et al. 2012.** Feasibility of applying forward osmosis to the simultaneous thickening, digestion, and direct dewatering of waste activated sludge. *Bioresour. Technol.* junho de 2012, Vol. 113, pp. 207-213.