



Estudo integrado para transporte, tratamento, valorização e destino final das lamas produzidas na ETAR de Sobreiras, na ETAR do Freixo

Ana Carolina Pinto Teixeira Carvalho

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador da Faculdade de Engenharia: Professor Doutor Chia-Yau Cheng

Orientador da empresa Águas do Porto EM: Professor Doutor Joaquim Manuel Veloso Poças
Martins

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2009/2010

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351 22 508 1400

Fax +351 22 508 1440

feup@fe.up.pt

<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição de que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente - 2009/2010 - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

À minha Família e Amigos

AGRADECIMENTOS

Apesar de todo o esforço e trabalho individual, a elaboração desta tese não teria sido possível sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto desde já os meus mais sinceros agradecimentos.

Ao Dr. Cheng, meu orientador, sem o qual não teria de todo atingido os meus objectivos. O meu obrigada por toda a ajuda prestada, pela disponibilidade, pela simpatia e por todo o apoio que sempre me concedeu. Obrigada por todas as críticas e sugestões efectuadas, foram e serão sempre tidas em consideração ao longo da minha carreira profissional. Obrigada por toda a bibliografia cedida, em especial a referente ao Professor Paulo Monteiro, que seria com toda a certeza uma grande ajuda nesta dissertação.

Ao Professor Poças Martins, meu orientador por parte das Águas do Porto, EM por ter tornado possível a realização desta dissertação, por todas as críticas e sugestões prestadas.

Ao Professor Pacheco Figueiredo pelo apoio prestado e pela disponibilidade com que sempre pude contar. Foi sem dúvida uma grande ajuda.

À Eng^a Patrícia Alves por toda a ajuda e disponibilidade ao longo do trabalho laboratorial. Pela companhia ao longo destes tempos e incentivo nas horas de algum desânimo.
Às estagiárias Vanessa Silva e Vanessa Mesquita pela ajuda com as análises de laboratório.

Ao António Mendes por toda a ajuda e informação cedida, por toda a simpatia e disponibilidade demonstrada.

À minha família que desde sempre esteve incondicionalmente ao meu lado, acompanhando as minhas vitórias e derrotas, ajudando-me a crescer e sem dúvida, ensinando-me a viver.
Em especial à minha mãe, avós maternos, ao Tio Pinto, Tia Mané, Gonçalo e Mariana. Sem este suporte familiar jamais teria sido possível chegar onde cheguei.

Aos meus amigos que ao longo de todo este tempo se mostraram incansáveis.
Um obrigada especial à Ana, ao Hélder e à Mafalda. Foram muitas vezes a força de vontade que teimava em faltar. Sempre presentes, sempre lá.

Aqueles que são hoje sem qualquer dúvida os amigos de sempre, Joana, Vítor, Henrique, Pedro, João Cunha, João Silva e Ana Soares.

À Diane, por todo o incentivo e amizade que permanecerão por certo para além das quatro paredes que partilhamos durante estes anos.

À Andreia, que para além de família é também uma amiga.

A todos aqueles que se cruzaram no meu caminho e fizeram com que a FEUP seja sempre uma casa muito nossa. Em especial o meu obrigada à Joana Lima e Maria Girão.

A todos vocês o meu mais sincero obrigado.

RESUMO

As Estações de Tratamento de Águas Residuais constituem hoje uma ferramenta indispensável à protecção e preservação da qualidade dos recursos hídricos e da saúde pública. Com os processos de tratamento ocorre a formação de lamas de depuração e a libertação de odores ofensivos, nem sempre tolerados pela população envolvente.

O destino final das lamas resultantes dos processos de tratamento representa um assunto de grande actualidade e importância. Quer a nível Europeu, quer Nacional, a opção de gestão de lamas mais praticada é a *valorização agrícola*. Esta prática tende a ser progressivamente menos utilizada devido ao perigo de contaminação de solos e recursos hídricos resultantes da deposição directa das lamas no solo. Uma das formas de gestão de lamas actualmente em crescimento é a *compostagem de lamas digeridas*.

Na cidade do Porto existem duas ETARs em funcionamento, a *ETAR de Sobreiras* e a *ETAR do Freixo*.

Devido à sua localização, a ETAR de Sobreiras vê-se deparada com a necessidade de reduzir ao máximo os odores libertados para as suas imediações.

As lamas desta ETAR, após desidratação, são armazenadas em silos e transportadas para o seu destino final recorrendo a camiões transportadores, sendo o potencial de libertação de odores elevado e o custo de transporte das lamas muito alto.

Este trabalho tem como objectivo o estudo da bombagem das lamas da ETAR de Sobreiras para a ETAR do Freixo, promovendo-se um novo destino final das lamas de ambas as ETAR.

Para prosseguir o dimensionamento de condutas e a escolha da melhor técnica de compostagem a utilizar foi necessário proceder à caracterização qualitativa e quantitativa das lamas envolventes no processo.

A solução encontrada aponta para a instalação de duas condutas em PEAD, que efectuarão o transporte das lamas de Sobreiras até à ETAR do Freixo. À chegada à ETAR do Freixo as lamas serão misturadas com as produzidas nesta ETAR e sujeitas a um processo de Digestão Anaeróbia com produção de biogás seguido de compostagem.

A compostagem das lamas digeridas será efectuada em canais revolvidos por volteadores automáticos, produzindo-se um composto orgânico para comercialização.

No estudo efectuado foi tido em consideração o facto de o composto formado não ser escoado de forma uniforme ao longo do ano.

A solução apresentada representa um estudo efectuado ao longo dos últimos meses, podendo apresentar soluções diferentes das que serão efectivamente implementadas, especialmente no processo de compostagem.

ABSTRACT

Wastewater Treatment Plant (WWTP) is nowadays an indispensable tool for the protection and preservation of water quality and public health. Treatment processes result the production of sludge and release of offensive odors, not always tolerated by the population nearby the WWTP.

The final destination of sludge from treatment processes is a topic of great timeliness and importance. Both at European and National level, the choice of sludge management is more committed to land disposal. This practice tends to be progressively less used because of the danger of contamination of soil and water resources. One way of sludge management that is recently increasing is the composting of digested sludge.

In Porto there are two wastewater treatment plants in operation, the WWTP of Sobreiras and the WWTP of Freixo.

Due to its location, the WWTP of Sobreiras finds himself faced with the need to minimize the odors released into their surroundings.

This WWTP sludge is stored in silos and transported to their final destination using truck transporters. With this, in the vicinity of the WWTP are experienced odors, cause for complaint from the neighborhood.

This work aims to study the pumping of sludge from Sobreiras to Freixo, promoting a new final destination of sludge of both WWTP.

To obtain the described results, it was necessary to proceed to the qualitative and quantitative characterization of sludge engaging in the process.

The solution points to the installation of two forced pipelines, which carry out the transportation of sludge from the WWTP Sobreiras to Freixo. In WWTP of Freixo mixed sludge will be subjected to anaerobic digestion to produce biogás for electricity generation and subsequently to composting.

The proposed composting process of digested sludge is horizontal channels turned by self-propelled turner, producing organic compost for sale to the public.

In the study it has been taken into account the fact that the compound formed is not disposed uniformly throughout the year.

The solution presented is a study carried out over recent months and may present solutions which are different from those that will be actually implemented.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABELAS	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objectivos	2
2. ENQUADRAMENTO	3
2.1 Funcionamento de uma ETAR	4
2.1.1 <i>Linha líquida</i>	4
2.1.2 <i>Linha de tratamento de lamas</i>	5
2.1.3 <i>Linha de desodorização</i>	8
2.2 Descrição da ETAR de Sobreiras	9
2.2.1 <i>Caracterização geral</i>	9
2.2.2 <i>Processos de tratamento</i>	9
2.3 Descrição da ETAR do Freixo	12
2.3.1 <i>Descrição geral</i>	12
2.3.2 <i>Processos de tratamento</i>	12
2.4 Gestão de Lamas	14
2.4.1 <i>Impactes no ambiente e na saúde pública</i>	15
2.4.2 <i>Valorização agrícola</i>	16
2.4.3 <i>Incineração</i>	17
2.4.4 <i>Deposição em aterro</i>	17
2.4.5 <i>Compostagem</i>	18
2.5 Legislação	19
2.5.1 <i>Deposição de resíduos em aterro – DL 183/2009</i>	19

2.5.2	<i>Utilização agrícola de lamas de depuração – DL 276/2009</i>	20
3.	DIGESTÃO DE LAMAS	21
3.1	Digestão Aeróbia	21
3.2	Digestão Anaeróbia	22
4.	COMPOSTAGEM	33
4.1	Processo Microbiológico	33
4.2	Descrição do Processo	35
4.3	Factores Condicionantes do Processo de Compostagem	36
4.3.1	<i>Razão C/N</i>	36
4.3.2	<i>pH</i>	37
4.3.3	<i>Inoculo</i>	37
4.3.4	<i>Arejamento e temperatura</i>	38
4.3.5	<i>Humidade</i>	39
4.3.6	<i>Granulometria</i>	39
4.4	Sistemas de Compostagem	40
4.4.1	<i>Sistemas em aberto</i>	40
4.4.2	<i>Sistemas em Reactor</i>	42
4.4.3	<i>Comparação dos sistemas de compostagem</i>	44
4.5	Agente Estruturante (Bulking Agent)	48
4.6	Necessidades de Arejamento	49
4.6.1	<i>Determinação da necessidade estequiométrica de ar</i>	49
4.6.2	<i>Determinação da necessidade de ar para remoção de água e de calor</i>	50
4.7	Odores	53
4.8	Estabilização do Composto	54
4.9	Qualidade Final do Composto	54
4.10	Aplicação do Composto no Solo	56
5.	BOMBAGEM DE LAMAS	59
5.1	Determinação da Perda de Carga	59
5.1.1	<i>Determinação do número de Reynolds</i>	60
5.1.2	<i>Determinação do número de Hedstrom</i>	60
5.1.3	<i>Determinação da queda de pressão</i>	60
5.2	Condutas	60

5.3	Choque Hidráulico	61
5.3.1	<i>Descrição do fenómeno</i>	61
5.3.2	<i>Dispositivos de protecção</i>	63
6.	ESTUDO DE CASO	65
7.	METODOLOGIA	69
7.1	Planos de Amostragem	69
7.2	Produção de Gás.....	70
7.3	Dimensionamento das Condutas	71
7.4	Estudo do Choque Hidráulico	71
7.5	Dimensionamento do Sistema de Compostagem	72
7.5.1	<i>Escolha do sistema de compostagem</i>	72
7.5.2	<i>Escolha do material estruturante</i>	72
7.5.3	<i>Cálculo das dimensões do sistema de compostagem</i>	73
8.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
8.1	Análise Qualitativa e Quantitativa	77
8.1.1	<i>Lamas ETAR de Sobreiras</i>	77
8.1.2	<i>Lamas ETAR do Freixo</i>	85
8.2	Dimensionamento das Condutas	88
8.3	Choque Hidráulico	91
8.4	Digestão anaeróbia	94
8.5	Compostagem.....	97
8.5.1	<i>Determinação da Área Necessária ao Processo de Compostagem</i>	97
8.5.1.1	<i>Características dos materiais a misturar</i>	97
8.5.1.2	<i>Determinação das quantidades de materiais a compostar</i>	98
8.5.1.3	<i>Determinação da área necessária para degradação activa</i>	99
8.5.1.4	<i>Determinação da área necessária para a fase de maturação</i>	100
8.5.1.5	<i>Determinação da área necessária para armazenamento temporário</i>	101
8.5.1.6	<i>Determinação da área necessária para equipamentos</i>	101
8.5.1.7	<i>Determinação da área total do processo de compostagem</i>	102
8.5.2	Determinação das necessidades de arejamento	105
8.6	Estimativa Orçamental.....	107
8.6.1	Bombagem e transporte de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras	108

8.6.2	Ampliação das etapas de tratamento de lamas na ETAR do Freixo.....	109
8.6.3	Instalação da central de compostagem	110
8.6.4	Estimativa orçamental total	111
9.	CONCLUSÕES.....	113
10.	BIBLIOGRAFIA	115
11.	ANEXOS	119
11.1	Anexo A.....	119
11.2	Anexo B.....	120
11.3	Anexo C.....	121
11.4	Anexo D.....	122
11.5	Anexo E.....	124
11.6	Anexo F	127
11.7	Anexo G	132
11.8	Anexo H.....	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Vista exterior da ETAR de Sobreiras	9
Figura 2 - Tratamento Primário – ETAR de Sobreiras	10
Figura 3 - Decantador secundário – ETAR de Sobreiras	10
Figura 4 - Local de descarga de lamas mistas – ETAR de Sobreiras	11
Figura 5 - Superfície exterior da ETAR do Freixo	12
Figura 6 - Tratamento Primário – ETAR do Freixo.....	12
Figura 7 - Técnicas utilizadas na Gestão de lamas	16
Figura 8 - Fases do processo de compostagem em função da temperatura da pilha, adaptado de Metcalf & Eddy, 2003	34
Figura 9 - Sistemas de compostagem em Pilhas Estáticas Arejadas. Adaptado de Martinho e Gonçalves 2000	41
Figura 10 - Sistemas de Compostagem em Pilhas Revovidas. Adaptado de Williams 2003	41
Figura 11 - Sistema em canal, adaptado de Ministry of agriculture, 1996B.....	43
Figura 12 - Fluxograma de funcionamento do sistema adoptado de tratamento e rejeição de lamas da ETAR de Sobreiras	66
Figura 13 - Instalação utilizada para verificação da produção de gás.....	71
Figura 14 - Formação de gás na amostra de 7/Junho/2010.....	82
Figura 15 - Formação de gás na amostra de 14/Junho/2010	83
Figura 16 - Formação de gás na amostra de 16/Junho/2010	84
Figura 17 - Choque Hidráulico - Envolventes da linha de carga.....	92
Figura 18 - Simulação do choque hidráulico com RAC.....	93
Figura 19 - Simulação da variação do volume de ar e de água no interior do RAC.....	94
Figura 20 - Planta da central de compostagem a implementar.....	103
Figura 21 – Planta da ETAR do Freixo, incluindo alterações a implementar	104
Figura 22 - Estimativa Orçamental de Bombagem e Transporte de Lamas Diluídas da ETAR de Sobreiras.....	108
Figura 23 - Estimativa orçamental para a ampliação do tratamento de lamas na ETAR do Freixo	109
Figura 24 - Estimativa orçamental para a instalação da central de compostagem.....	110
Figura 25 – Estimativa orçamental total.....	111

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Legislação aplicável à gestão de lamas	19
Tabela 2 - Potencial de produção de biogás em Portugal com origem no biogás. Fonte: Energias Renováveis 2001	32
Tabela 3 - Síntese das principais características dos diversos sistemas de compostagem; adaptado de Tchobanoglous e outros. 1993 e Ministry of agriculture	47
Tabela 4 - Classes de compostos e de resíduos orgânicos estabilizados de acordo com o “Biological treatment of biowaste – second draft” 2001 *	55
Tabela 5 - Valores estabelecidos pela Proposta de Norma Técnica Portuguesa – 2005***	56
Tabela 6 - Plano de amostragem – ETAR do Freixo	69
Tabela 7 - Plano de amostragem – ETAR de Sobreiras	70
Tabela 8 - Nomenclatura a utilizar nos cálculos inerentes à compostagem	73
Tabela 9 - Fórmula de cálculo para a mistura de dois materiais	73
Tabela 10 - Cálculo do Rácio C/N e teor de humidade na mistura de vários materiais	74
Tabela 11 - Nomenclatura utilizada para cálculos inerentes à compostagem	74
Tabela 12 - Análise qualitativa das lamas de Sobreiras	77
Tabela 13 - Dados de base utilizados nos cálculos de produção de lamas	78
Tabela 14 - Determinação da produção de lamas primárias	78
Tabela 15 - Determinação da produção de lamas biológicas	79
Tabela 16 - Determinação da produção de lamas mistas, sem etapa de espessamento	79
Tabela 17 - Determinação da produção de lamas mistas, com etapa de espessamento	80
Tabela 18 - Espessamento de lamas mistas da ETAR de Sobreiras	81
Tabela 19 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 7 de Junho de 2010	81
Tabela 20 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 14 de Junho de 2010 – ETAR de Sobreiras	82
Tabela 21 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 16 de Junho de 2010 – ETAR de Sobreiras	83
Tabela 22 - Caracterização qualitativa das lamas do Freixo	85
Tabela 23 - Dados de base utilizados nos cálculos de produção de lamas na ETAR do Freixo	86
Tabela 24 - Determinação da produção de lamas primárias	86
Tabela 25 - Determinação da produção de lamas biológicas, antes da etapa de espessamento	87
Tabela 26 - Determinação da produção de lamas biológicas, após da etapa de espessamento	87
Tabela 27 - Determinação da produção de lamas mistas	88
Tabela 28 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 125mm	89
Tabela 29 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 150mm	90
Tabela 30 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 200mm	90
Tabela 31 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 144,6mm	91
Tabela 32 - Volume de lamas à entrada do digestor anaeróbio	95

Tabela 33 - Produção de biogás durante a digestão anaeróbia	95
Tabela 34 - Produção energia eléctrica a partir do biogás gerado.....	96
Tabela 35 - Produção de lamas digeridas anaerobiamente	96
Tabela 36 – Determinação do volume de lamas desidratadas	97
Tabela 37 - Características dos materiais a compostar	97
Tabela 38 - Determinação das quantidades de materiais a compostar.....	98
Tabela 39 - Cálculo das necessidades de adição de água à mistura.....	99
Tabela 40 - Determinação do volume de mistura a compostar.....	99
Tabela 41 - Determinação da área necessária para degradação activa	100
Tabela 42 - Determinação da área necessária para a fase de maturação do composto	100
Tabela 43 - Determinação da área necessária para o armazenamento temporário de materiais	101
Tabela 44 - Determinação da área necessária para equipamentos.....	101
Tabela 45 - Determinação da área total necessária para o processo de compostagem.....	102
Tabela 46 - Determinação da fracção biodegradável dos materiais a compostar	105
Tabela 47 - Determinação da humidade específica de entrada e de saída.....	105
Tabela 48 - Determinação das necessidades estequiométricas de arejamento	106
Tabela 49 - Determinação da quantidade de ar a fornecer à mistura.....	107
Tabela 50 - Estimativa Orçamental de Bombagem e Transporte de Lamas Diluídas da ETAR de Sobreiras.....	108
Tabela 51 - Estimativa orçamental para a ampliação do tratamento de lamas na ETAR do Freixo.....	109
Tabela 52 - Estimativa orçamental para a instalação da central de compostagem.....	110
Tabela 53 - Estimativa orçamental total.....	111
Tabela 54 - Valores limite de concentração de metais pesados e microrganismos nas lamas destinadas à aplicação no solo agrícola	119
Tabela 55 - Análises laboratoriais das lamas da ETAR de Sobreiras	120
Tabela 56 - Análises laboratoriais das lamas da ETAR do Freixo	121
Tabela 57 - Perfil arbitrado da conduta.....	122
Tabela 58 - Dados gerais de entrada para a simulação do choque hidráulico.....	122
Tabela 59 - Dados de entrada inerentes ao RAC para a simulação do choque hidráulico	123
Tabela 60 - Ponto de funcionamento da instalação elevatória	124
Tabela 61 - Comportamento do reservatório de ar comprimido	124
Tabela 62 - Envolventes da Carga Hidráulica e de Pressão para a simulação sem RAC	125
Tabela 63 - Envolventes da Carga Hidráulica e de Pressão para a simulação com RAC	126
Tabela 64 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo	127
Tabela 65 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)...	128
Tabela 66 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)...	129
Tabela 67 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)...	130
Tabela 68 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)...	131
Tabela 69 - Estimativa orçamental inerente a bombagem e transporte de lamas.....	132
Tabela 70 - Estimativa orçamental inerente a construção da central de compostagem.....	133
Tabela 71 - Estimativa orçamental inerente a construção da central de compostagem.....	134

ACRÓNIMOS

C	Carbono
C _A	Quantidade de Carbono no material A
C _B	Quantidade de Carbono no material B
C _C	Quantidade de Carbono no material C
CEE	Comunidade Económica Europeia
CQO	Carência Química de Oxigénio
DL	Decreto-Lei
DN	Diâmetro Nominal
EEA	European Environment Agency
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FFD	Ferro Fundido
H	Humidade
Ha	Quantidade de Humidade no material a
Hb	Quantidade de Humidade no material b
Hc	Quantidade de Humidade no material c
MRS	Minimum Required Strength
N	Azoto
Na	Quantidade de Azoto no material a
Nb	Quantidade de Azoto no material b
Nc	Quantidade de Azoto no material c
NTK	Azoto Total Kjeldhal
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PN	Pressão Nominal
R	Rácio C/N Pretendido
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UE	União Europeia

1. INTRODUÇÃO

O aparecimento de focos de poluição ambiental, nomeadamente a contaminação dos recursos hídricos, solos, e ar, fortemente intensificada nos últimos anos é resultado dos elevados progressos técnicos e sociais verificados aquando da intensificação da Revolução Agrícola, e com o arrançar da Revolução Industrial, século XVIII.

Verificou-se então o despoletar do crescimento demográfico em consequência de uma melhoria acentuada nas condições de vida e alimentação, de um aumento das preocupações com as condições de higiene e dos progressos tecnológicos observados. Esta linha evolutiva tendeu a evoluir e a intensificar-se pelo mundo fora, tendo como uma das consequências o aumento significativo da produção de resíduos sólidos e de águas residuais e o aparecimento de diversos focos de poluição até então insignificantes.

Com a entrada para a Comunidade Económica Europeia (CEE), em 1986, Portugal vê-se obrigado a adequar a sua legislação às Directivas Europeias, visando assim o crescimento dos seus padrões de desenvolvimento. Para além da alteração de alguma legislação, foi também aparecendo legislação em diversas áreas até então fora do regime legislativo em vigor.

Com o surgir de legislação na área do ambiente, surge a obrigatoriedade de criar meios de recolha e tratamento de águas residuais, visando a protecção dos solos, do meio hídrico, e da saúde pública. Observa-se então a construção de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) que denotam ao longo dos anos melhorias efectivas nos seus processos de tratamento.

Nas últimas décadas do século XX, Portugal revelava ainda baixos níveis de atendimento no saneamento das águas residuais, sendo que o aparecimento de Sistemas Multimunicipais de Abastecimento de Água e de Saneamento constituiu o ponto de partida para o combate a esta lacuna nacional, verificando-se ao longo dos últimos anos uma melhoria significativa deste sector.

As ETAR, se por um lado possibilitam o tratamento e descarga de águas residuais dentro dos valores limite legislados, por outro têm como subproduto as lamas, ricas em matéria orgânica e em agentes contaminantes, como metais pesados e organismos patogénicos.

A gestão destas lamas é também regulada em legislação nacional.

Na cidade do Porto, estão em funcionamento duas ETAR, ETAR do Freixo e ETAR de Sobreiras. A ETAR de Sobreiras, localizada na Foz do Douro vê-se obrigada a diminuir os odores libertados para as suas imediações, procurando para tal proceder a alterações no que compete ao transporte e destino final das lamas produzidas.

As lamas produzidas nas duas ETAR são recolhidas por uma empresa externa e encaminhadas para valorização agrícola. Como esta cidade não apresenta grande industrialização, a deposição de metais pesados não é de todo factor importante.

Com a alteração da legislação em vigor e o aumento das exigências de qualidade requeridas para a deposição de lamas, passam a ser preferidas outras formas de gestão destas lamas.

A compostagem tem vindo a demonstrar resultados favoráveis na medida em que se forma um composto higienizado e com características orgânicas propícias a uma utilização como fertilizante agrícola.

1.1 Objectivos

- Conhecimento da importância, relativamente aos aspectos técnico, económico e ambiental da produção, tratamento e destino final de lamas em ETAR;
- Análise dos problemas específicos da ETAR de Sobreiras induzidos pela limitação e sensibilidade do tratamento das suas lamas;
- Verificação, através de ensaio laboratorial, dos factores que afectam o transporte de lamas incluindo a concentração de sólidos e a produção de gás;
- Dimensionamento de um sistema de elevação e transporte de lamas;
- Conhecimento do processo biológico para produção de composto que sirva como correctivo de solos;
- Dimensionamento de um sistema de compostagem para as lamas anaerobiamente digeridas e desidratadas por centrifugação;
- Elaboração de um estudo técnico-económico que vise uma solução integrada e definida para as lamas produzidas nas 2 ETARs da cidade do Porto.

2. ENQUADRAMENTO

Atendendo ao evoluir das exigências ambientais a nível global e ao surgir de legislação cada vez mais exigente, Portugal tem vindo a tomar algumas iniciativas no que compete à defesa do meio ambiente.

Uma das grandes áreas de actuação, quer a nível nacional quer global é, sem dúvida a preservação da qualidade dos recursos hídricos. Assim, um pouco por todo o país verificam-se medidas de controlo e eliminação da poluição da água.

É cada vez maior a implementação de estações de tratamento de águas residuais, impedindo que os esgotos sejam rejeitados directamente num meio hídrico receptor, sem qualquer tipo de tratamento que elimine as suas elevadas cargas poluentes.

Se por um lado o tratamento de águas residuais é indispensável nos dias que correm, contribuindo para a defesa do ambiente e da saúde pública, por outro lado este tratamento origina lamas de depuração, constituindo um novo problema ambiental com obrigatoriedade legislativa de ser solucionado.

A produção destas lamas, para além de outros impactes descritos ao longo do trabalho, é causadora de odores ofensivos nas imediações das estações de tratamento.

Na cidade do Porto, estão em funcionamento duas ETAR, a do Freixo que serve a zona Oriental (em funcionamento desde Setembro de 2000) e a ETAR de Sobreiras, servindo a zona ocidental (em funcionamento desde 2003), garantindo desta forma que a totalidade da sua área seja servida com uma rede pública de drenagem de águas residuais domésticas.

Em toda a cidade são gerados diariamente cerca de 100 000 m³ de águas residuais urbanas (Fonte: Águas do Porto, EM), das quais 90% são tratadas nas referidas ETARs.

A produção de lamas resultante do tratamento das águas residuais no Porto é considerável, cerca de 10 000 kg/d na ETAR de Sobreiras e 8 500 kg/d na ETAR do Freixo em termos de material seco. Com estes valores será de fácil conclusão que grande parte dos encargos relativos a estas duas ETAR se deve à gestão das lamas formadas.

Com isto, surge a necessidade de solucionar o armazenamento e transporte das lamas da ETAR de Sobreiras de forma técnica, económica e ambientalmente mais vantajosa, diminuindo-se desta forma os odores sentidos nas imediações da ETAR. De forma a realizar a valorização das lamas provenientes das referidas ETARs, deu-se especial atenção à compostagem de lamas e consequente produção de composto, ficando desta forma eliminados os custos inerentes ao transporte e destino final das lamas de ambas as ETARs.

2.1 Funcionamento de uma ETAR

Para proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas das águas residuais urbanas e das águas residuais de determinados sectores industriais são criadas infra-estruturas de grande importância – ETAR.

Aqui, as águas residuais são sujeitas a um conjunto de tratamentos físicos, químicos e biológicos com a finalidade de separar os materiais sólidos, reduzir a carga orgânica poluente e eventuais metais pesados e ainda reduzir e desactivar a actividade dos microrganismos patogénicos.

Estão actualmente em vigor requisitos legislativos no que compete à protecção do ambiente e dos recursos hídricos que apenas são cumpridos com a correcta gestão das ETAR e assegurando que todos os processos envolventes decorrem de forma pretendida.

Os tratamentos a que as águas residuais estão sujeitas dividem-se em três linhas: linha líquida, linha sólida e linha de desodorização.

2.1.1 Linha líquida

Na linha líquida, as águas residuais são sujeitas a quatro processos de tratamento:

- Tratamento preliminar;
- Tratamento primário;
- Tratamento secundário ou biológico;
- Tratamento terciário.

No *tratamento preliminar* as águas residuais afluentes à ETAR são sujeitas a processos de remoção de sólidos grosseiros – gradagem, processos de eliminação de areias - desarenamento e ainda a processos que permitam a eliminação de gorduras - desengorduramento. Esta etapa tem como grande objectivo a preparação do efluente para as etapas de tratamento seguintes e ainda a protecção e o garante do bom funcionamento dos equipamentos a jusante.

Desta forma, evitam-se paragens no processo devido a entupimentos, formação de espumas, entre outros.

Após o tratamento preliminar, o efluente é encaminhado para os tanques de *tratamento primário*, onde se dá a remoção da componente sedimentável dos sólidos em suspensão existentes na água residual. Daqui resulta a formação de Lamas Primárias, com elevado teor em matéria orgânica e causadoras de um forte odor. Esta é uma etapa meramente física, no entanto é possível efectuar a adição de coagulantes/floculantes que possibilitam a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões e mais facilmente decantáveis.

Com o teor em matéria orgânica e a quantidade de sólidos significativamente reduzidos, o efluente é então sujeito ao *tratamento secundário ou biológico*. Nesta etapa é efectuada a estabilização da matéria orgânica e a remoção dos sólidos não sedimentados.

Através do estabelecimento de condições próprias à actividade bacteriana os nutrientes e a matéria orgânica são consumidos.

Estes reactores são normalmente constituídos por microrganismos aeróbios e por isso existe a necessidade de promover o arejamento.

As lamas formadas no final desta etapa são lamas secundárias, bastante diluídas e com menor teor em matéria orgânica que as anteriores.

O último processo de tratamento, *tratamento terciário* corresponde à etapa onde se procede à desinfecção das águas residuais tratadas para a remoção dos organismos patogénicos ou, em casos especiais, à remoção de determinados nutrientes, como o azoto e o fósforo, que podem potenciar, isoladamente e/ou em conjunto, a eutrofização das águas receptoras.

A desinfecção das águas residuais pode ser efectuada por adição de cloro ou ozono ou por radiação ultravioleta, sendo esta última a solução mais utilizada.

2.1.2 Linha de tratamento de lamas

Tal como anteriormente referido, ao longo das etapas de tratamento vão-se formando subprodutos do tratamento denominados por lamas. Estas lamas são ricas em matéria sólida, contendo um teor em água considerável.

As lamas constituem uma mistura de sólidos e água, sendo ricas em matéria orgânica e por isso, quando sujeitas a condições anaeróbias são causadoras de maus odores.

Para que o tratamento e a deposição final da fase sólida (lamas primárias e biológicas) sejam os mais adequados é necessário que se conheçam antecipadamente as características dos materiais a serem processados. Estas características dependem essencialmente da origem dos sólidos, das quantidades geradas e do tipo de processo a que estiveram sujeitos anteriormente.

As *lamas primárias* apresentam níveis de viscosidade elevados, produzindo perdas de carga também elevadas quando transportadas em condutas. Apresentam ainda odores extremamente ofensivos.

Este tipo de lamas, quando removido do decantador apresenta teores de sólidos totais na ordem de 1 a 7%, dependendo do tipo de decantador utilizado e do método de remoção da lama do decantador (NUVOLARI, 2003).

Normalmente estas lamas, antes de serem enviadas para o digestor, são sujeitas a um processo de espessamento a fim de se diminuir o volume dos digestores. Assim sendo conseguem-se valores na ordem dos 5 a 10% (NUVOLARI, 2003).

As *lamas biológicas secundárias*, provenientes dos sistemas de lamas activadas apresentam um teor em sólidos totais na ordem dos 0,5 a 1,5% (NUVOLARI, 2003).

A fim de se diminuir o seu volume, aumentando o teor em sólidos para a gama entre os 3,5 a 5,0% estas lamas são também sujeitas ao espessamento.

Tal como a parte líquida das águas residuais, também as lamas necessitam de um destino final apropriado e ambientalmente seguro, cumprindo requisitos legislativos. Desta forma é necessário que sejam sujeitas a uma série de tratamentos físico – químicos a fim de se reduzir o teor em água, volume e peso, possibilitando assim a rejeição num destino final adequado e economicamente viável.

As etapas de tratamento de lamas são:

- Espessamento de Lamas Brutas;
- Estabilização Biológica de Lamas;
- Desidratação de Lamas Digeridas;
- Estabilização Química.

Nas estações de tratamento mais antigas, especialmente as que não são equipadas com crivagem fina e desarenamento, as lamas produzidas podem ser sujeitas a uma etapa de pré-tratamento físico por maceração mecânica e desarenação gravítica.

2.1.2.1 Espessamento de lamas brutas

O objectivo desta etapa de tratamento é a redução do teor em água das lamas formadas.

O espessamento gravítico, sem utilização de produtos químicos é normalmente suficiente para concentrar as lamas decantadas até um teor de sólidos da ordem dos 3 – 4%. Ocasionalmente, para um elevado caudal de lamas provenientes do tratamento de água, utilizam-se processos de flutuação ou centrifugação para espessamento. Por vezes é necessária a adição de coagulantes e floculantes para promover uma boa decantação da lama.

As lamas primárias apresentam uma concentração em sólidos variável entre 1 e 7 %, e devido à sua elevada capacidade de decantação o espessamento pode ser efectuado recorrendo a reactores similares aos utilizados na decantação primária – espessamento gravítico (Metcalf & Eddy, 1991).

Por outro lado, as lamas biológicas são caracterizadas por um elevado teor em água (> 98%), sendo que o espessamento se efectua normalmente por flutuação. Em estações de tratamento de pequenas dimensões efectua-se a mistura de lamas e o espessamento conjunto por espessadores gravíticos. Em estações de tratamento de maiores dimensões este método não apresenta resultados viáveis, efectuando-se normalmente o espessamento das lamas biológicas por flutuação. (Metcalf & Eddy, 1991).

2.1.2.2 Estabilização de lamas

A estabilização das lamas é efectuada com o intuito de se obter uma diminuição do potencial de putrefacção das lamas e da presença de microrganismos patogénicos, sendo ainda atenuada a produção de odores. A estabilização de lamas poderá ser realizada por via química, biológica ou física.

A via química consiste normalmente na adição de cal viva à lama, tendo este processo a desvantagem de possuir elevados custos de exploração, quer ao nível da cal, quer ao nível do transporte e do destino final das lamas e ainda o facto de se verificar um acréscimo do peso das lamas com a adição do reagente.

A estabilização biológica é realizada por digestão (aeróbia ou anaeróbia) ou então por compostagem.

Comparando com a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia apresenta um menor custo de construção, no entanto possui um maior custo de exploração decorrente do sistema de arejamento.

A escolha entre um e outro sistema deverá ser ponderada em termos económicos e, também, em termos de eficácia e de flexibilidade.

A digestão anaeróbia, para grandes caudais torna-se economicamente viável devido à recuperação do biogás produzido.

A estabilização física processa-se normalmente por secagem térmica e pasteurização

2.1.2.3 Condicionamento

O condicionamento de lamas é efectuado com o intuito de aumentar a eficácia da etapa de desidratação, melhorado a separação sólido - líquido.

Este condicionamento pode ser efectuado por vários processos – floculação química, adição de electrólitos minerais ou de polímeros orgânicos, por tratamento térmico, por electro-osmose, ou pela adição de materiais inertes desagregados.

O condicionamento químico torna-se muito dispendioso e por isso pouco utilizado, enquanto que a adição de materiais inertes desagregados permite aumentar a coesão da lama e por isso facilita de forma acentuada a desidratação.

2.1.2.4 Desidratação

Por fim, a lama é sujeita à etapa de desidratação. Esta etapa tem como propósito a eliminação de grande parte do volume de água contido na lama, diminuindo o volume total das lamas e facilitando o seu transporte e manuseamento.

Após a desidratação obtêm-se teores em sólidos na ordem dos 15 a 35%, equivalente a teores de humidade entre os 65 a 85% (NUVOLARI, 2003).

A desidratação é efectuada com equipamentos mecânicos - filtros de vácuo, filtros banda, filtros prensa de placas e centrífugas, ou então naturalmente por evaporação ou percolação em leitos e lagoas de secagem.

De entre os equipamentos referidos, o filtro prensa de placas é o que apresenta um maior acréscimo ao volume final de lamas (da ordem dos 20%) devido à quantidade considerável de produtos químicos adicionados (cal ou cloreto de ferro). No entanto com este equipamento são obtidos elevados valores de eficiência obtendo-se teores em sólidos entre os 25 e 35%, sendo também equipamentos de fácil manuseamento (NUVOLARI, 2003).

2.1.2.5 Armazenamento

Por vezes é necessário armazenar as lamas tratadas até que sejam transportadas para o seu destino final. Este armazenamento é feito normalmente em silos de capacidade variada.

2.1.3 Linha de desodorização

Os odores têm sido apontados como a primeira preocupação do público relativamente à implementação de uma estação de tratamento de águas residuais. Assim sendo, o tratamento de odores tornou-se motivo de importância acrescida e discutida aquando da execução do projecto de uma ETAR.

De entre as diversas fontes de odores agressivos nas estações de tratamento, destacam-se:

- Esgoto séptico contendo entre outras combinações causadoras de maus odores, sulfureto de hidrogénio;
- Descargas industriais nos sistemas colectores;
- Caixas de areia e grades de limpeza;
- Espuma formada nos decantadores primários;
- Processos de tratamento biológico anaeróbio de alta carga orgânica;
- Lamas dos espessadores, condicionadores e desidratadores;
- Processos de secagem de lamas;
- Compostagem de lamas.

Existem diversas metodologias aplicadas a fim de se diminuir os odores formados, como por exemplo o uso de entradas submersas, utilização de cargas apropriadas no processo, combustão de gases a temperaturas apropriadas, entre outras.

Os principais processos para tratamento de gases odoríferos podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos.

Dois dos métodos mais comuns para este tipo de tratamento são a utilização de carvão activado e de lavadores químicos.

O carvão activado apresenta diferentes taxas de adsorção para diversas substâncias. Pode ser efectivo a remover sulfureto de hidrogénio e na redução de odores orgânicos, sendo que a remoção de odores depende da concentração de hidrocarbonetos no gás, sendo estes adsorvidos preferencialmente a compostos como o H₂S (NUVOLARI, 2003).

A vida útil do leito de carvão é limitada, necessitando de ser regenerado ou substituído se se pretender uma remoção contínua de odores.

Os lavadores a húmido são formados por torres em contra corrente, e lavadores transversais. O objectivo principal destes lavadores é promover o contacto entre o ar, água e as substâncias químicas utilizadas, permitindo a oxidação ou o carreamento das substâncias odoríferas. Os oxidantes mais utilizados são as soluções de cloro (hipoclorito de sódio) e de permanganato de potássio.

2.2 Descrição da ETAR de Sobreiras

2.2.1 Caracterização geral

A ETAR de Sobreiras encontra-se situada na freguesia de Lordelo do Ouro, junto à Foz do Douro. Devido à exiguidade de terreno disponível, e de forma a minimizar o impacto visual das construções, a ETAR desenvolve-se em vários andares e encontra-se parcialmente enterrada, partindo da cota da Rua de Sobreiras – 4,0 metros e terminando à cota da Rua de Gaspar Correia. Na zona mais alta esta encontra-se enterrada cerca de 25 metros.

A esta estação de tratamento chegam as águas residuais domésticas da parte Ocidental da cidade do Porto, tendo sido dimensionada para servir um equivalente populacional de 200.000 habitantes e projectada para um caudal médio diário de 54.000 m³/dia. Os dados reais demonstram que o caudal médio diário recebido pela ETAR se encontra inferior ao valor projectado, estando esta estação preparada para eventuais aumentos nas descargas efectuadas.



Figura 1 - Vista exterior da ETAR de Sobreiras

Esta ETAR é constituída por módulos de tratamento integralmente fechados, ventilados e desodorizados, sendo as zonas técnicas de implantação dos equipamentos ruidosos isoladas e sujeitas a um tratamento acústico específico.

Para além disso, as coberturas dos principais órgãos de tratamento são vegetalizadas e a zona envolvente ajardinada, diminuindo desta forma o impacto visual sobre a ETAR, impacto este de elevada importância devido ao local da cidade onde a ETAR se encontra instalada.

2.2.2 Processos de tratamento

A ETAR de Sobreiras é constituída por três linhas de tratamento: a linha líquida, a linha de lamas e a linha de desodorização.

2.2.2.1 Linha líquida

A linha líquida, onde se realiza o tratamento das águas residuais afluentes, é constituída pelas seguintes etapas:

- Tratamento preliminar, onde é efectuada a gradagem, tamisagem, remoção de areias e gorduras (reactor biológico de tratamento de gorduras);
- Tratamento primário efectuado em decantadores primários lamelares;
- Tratamento secundário em reactor biológico constituído por três zonas – anóxica, arejada e endógena. Nesta etapa há recirculação de lamas activadas. O efluente passa de seguida para os decantadores secundários rectangulares, verificando-se a recirculação das lamas biológicas para o reactor biológico.
- Tratamento terciário. Nesta última etapa do tratamento da linha líquida efectua-se a filtração em leito de areia e de seguida o efluente é sujeito a desinfecção por radiação ultravioleta.



Figura 2 - Tratamento Primário – ETAR de Sobreiras

2.2.2.2 Linha de lamas

A linha de lamas é constituída pelas etapas de Espessamento, Desidratação, Estabilização química e Armazenamento de lamas.

O Espessamento de lamas é efectuado apenas para as lamas biológicas em excesso através da flutuação. Após este espessamento as lamas espessadas são misturadas e homogeneizadas com as lamas primárias.

A Desidratação das lamas espessadas é realizada após homogeneização das lamas, até um teor em sólidos de 27%. A desidratação é efectuada com recurso ao condicionamento químico com polímero e à desidratação em centrífugas.

Antes do seu armazenamento, as lamas são sujeitas a uma etapa de estabilização química. Nesta estabilização ocorre a adição de cal viva, destinada a garantir condições adequadas ao seu armazenamento, transporte a destino final.

Por último, o armazenamento que se efectua antes do transporte a destino final é efectuado em dois silos com uma capacidade de aproximadamente 270 m³.



Figura 3 - Decantador secundário – ETAR de Sobreiras

2.2.2.3 Linha de desodorização

A ETAR de Sobreiras está equipada com uma linha de tratamento de odores, constituída por um circuito de extracção generalizada de ar viciado do interior de todos os órgãos de tratamento, conduzindo-o a um sistema específico.

A linha de tratamento de ar tem uma capacidade instalada para tratar um volume de cerca de 60.000 m³/h de ar. O tratamento do ar consiste na sua lavagem química sequencial em três etapas:

- Lavagem ácida, com ácido sulfúrico;
- Lavagem oxidante, com hipoclorito de sódio;
- Lavagem básica com hidróxido de sódio.

2.2.3 Impactes

A rejeição das lamas desidratadas para o exterior da ETAR é realizada por um camião cujo movimento é limitado ao período nocturno.

Devido à sua localização na Foz do Douro, local muito sensível da cidade do Porto, a parte mais delicada da exploração da ETAR de Sobreiras é o tratamento do ar contaminado, ou seja, dos maus odores verificados devido aos processos de produção, armazenamento, tratamento e transporte de lamas.

O armazenamento de lamas gera só por si a libertação de odores desagradáveis. Estes odores são acrescidos aquando do vazamento das lamas dos silos para os camiões, por muito cuidado que haja há sempre ligeiras perdas no local de descarga.

Para além das diversas queixas devido aos odores sentidos por parte da vizinhança, a ETAR tem ainda de suportar os custos elevados relacionados com o transporte e destino final das lamas tratadas.

Tendo em consideração que os maus odores são característicos das estações de tratamento de águas residuais, surgiu no entanto a necessidade de se encontrar uma nova solução, eficaz e adequada para o armazenamento e transporte de lamas de modo a apaziguar os maus odores sentidos nas imediações.

Assim, ao longo deste trabalho será efectuada uma abordagem a possíveis soluções a concretizar para eliminar os referidos problemas.



Figura 4 - Local de descarga de lamas mistas – ETAR de Sobreiras

2.3 Descrição da ETAR do Freixo

2.3.1 Descrição geral

Em funcionamento desde meados de 2000, a ETAR do Freixo permite o tratamento das águas residuais produzidas por um equivalente populacional de 170 mil habitantes (tendo capacidade para ser ampliada e servir 210 mil habitantes) e serve, actualmente a zona oriental da cidade do Porto, bem como a freguesia de Fânzeres, do Concelho de Gondomar. Recebe um caudal médio diário de 20.000 m³/dia.

Na concepção da ETAR foram impostas restrições significativas no que se refere à sua protecção contra a eventual ocorrência de distúrbios ambientais associados à emissão de odores, ruídos e poeiras.

Para permitir a concretização de todos estes objectivos, a ETAR é constituída por módulos de tratamento integralmente fechados, ventilados e desodorizados, sendo as zonas técnicas de implantação dos equipamentos ruidosos isoladas e sujeitas a um tratamento acústico específico.

A ETAR do Freixo, localizada junto à rotunda do Freixo, possui uma extensão de terreno ocupado de 3,5ha reservada para futura ampliação, tendo como meio hídrico receptor o Rio Tinto.



Figura 5 - Superfície exterior da ETAR do Freixo

2.3.2 Processos de tratamento

Tal como a ETAR de Sobreiras, a ETAR do Freixo é constituída por três linhas de tratamento: linha líquida; linha de lamas e linha de desodorização.

2.3.2.1 Linha líquida

A linha líquida é idêntica à existente na ETAR de Sobreiras, referida anteriormente.

É efectuado o tratamento preliminar para remoção de sólidos suspensos, gorduras e areia.



Figura 6 - Tratamento Primário – ETAR do Freixo

De seguida, efectua-se o tratamento primário por decantação gravítica seguido do tratamento secundário por lamas activadas com remoção de azoto. Por último, o efluente é sujeito à desinfecção por radiação ultravioleta.

2.3.2.2 Linha de lamas

A linha de lamas é constituída pelas etapas de espessamento, estabilização e desidratação.

Na ETAR do Freixo o espessamento de lamas é efectuado em dois órgãos distintos:

- Espessadores gravíticos, destinados ao espessamento das lamas primárias extraídas dos decantadores lamelares;
- Centrífugas para espessamento das lamas biológicas em excesso.

A Estabilização Biológica das Lamas consiste numa digestão anaeróbia mesofílica em dois estágios a uma temperatura média de 35°C, onde a agitação é mantida por insuflação de biogás.

Com vista a manter as lamas em digestão, sob temperatura constante, existem duas caldeiras mistas, dois permutadores térmicos de água quente e um motor de cogeração com recuperação de calor para aquecer as lamas frescas e compensar as perdas energéticas dos digestores. O biogás é aproveitado, através de cogeração, para a produção de energia eléctrica e energia térmica.

Os órgãos principais utilizados nesta estabilização são: digestores primários aquecidos; digestores secundários; recirculação e aquecimento das lamas em digestão; gasómetro de armazenamento do biogás produzido; sistema de aproveitamento do biogás para aquecimento das lamas; sistema de cogeração para valorização energética do biogás.

Tal como na ETAR de Sobreiras, as lamas são desidratadas até um teor em sólidos de 27 %, efectuando-se um condicionamento químico com polímero e desidratação em centrífugas.

A estabilização química é também realizada por adição de cal viva.

Por último, o armazenamento é efectuado num silo com capacidade para armazenar 160 m³ de lamas. Após o armazenamento, as lamas são enviadas para valorização agrícola.

2.3.2.3 Linha de desodorização

A ETAR do Freixo está equipada com uma linha de tratamento de odores constituída por um circuito de extracção de ar contaminado das seguintes unidades de tratamento: câmara de chegada das águas residuais brutas, edifício dos pré-tratamentos e decantação primária, espessamento das lamas (primárias e biológicas), tanque de mistura das lamas espessadas, desidratação de lamas e silos de armazenamento.

A linha de tratamento de ar tem uma capacidade instalada para tratar um volume de 33 000 Nm³/h de ar contaminado, tendo um processo semelhante ao referido na ETAR de Sobreiras.

2.4 Gestão de Lamas

O aumento da percentagem de população servida por sistemas de tratamento das águas residuais, bem como do nível de tratamento destas águas, estão na origem de um aumento das quantidades de lamas de depuração.

A correcta gestão das lamas produzidas no tratamento de águas residuais é um ponto de extrema importância quer ao nível ambiental, quer ao nível da saúde pública.

Como tal, a correcta gestão destas lamas é obrigatória e deve seguir os princípios da política europeia de resíduos (CE, 2008).

- Prevenção da produção de resíduos mediante um maior recurso a técnicas favoráveis ao ambiente, pouco geradoras de resíduos, bem como o fabrico de bens de consumo respeitadores do ambiente e susceptíveis de reciclagem,
- Promoção da valorização, nomeadamente, da recuperação e reutilização de resíduos como matérias-primas,
- Melhoria da eliminação dos resíduos, mercê de normas europeias rigorosas, em particular de disposições regulamentares,
- Reforço das disposições relativas ao transporte de substâncias perigosas,
- Saneamento dos terrenos contaminados.

O método de consecução destes objectivos consiste na eliminação dos resíduos em instalações apropriadas que se situem o mais próximo possível do local de produção. Cada Estado-Membro deve, para o efeito, apresentar um plano de gestão.

Os programas comuns de investigação visam reduzir o volume de resíduos não recicláveis e criar processos de reciclagem dos resíduos industriais e domésticos, bem como de utilização de resíduos na agricultura ou na produção de energia.

Os Estados Membros seguem uma hierarquia de gestão de resíduos que visa em primeiro lugar a redução da produção de resíduos, privilegiando de seguida a reutilização, reciclagem e valorização energética. Como ultima opção de gestão é considerada a eliminação, quer por deposição em aterro quer por incineração sem valorização energética.

As lamas são um produto inevitável do tratamento de águas residuais, provenientes essencialmente da acumulação dos produtos em suspensão na água residual afluente, geralmente transformados pela acção de microrganismos em acção durante o tratamento.

A caracterização qualitativa e quantitativa da lama é de extrema importância, na medida em que possibilita a escolha adequada do seu destino final, não sendo no entanto uma tarefa fácil.

As lamas são ricas em matéria orgânica, azoto, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre e outros micro elementos imprescindíveis para a sobrevivência da fauna e flora dos solos, razão pela qual constituem um bom aditivo orgânico para solos. Por outro lado, podem conter

constituintes tóxicos e organismos patogénicos que necessitam ser reduzidos, evitando problemas que daí possam surgir.

A gestão de lamas de ETAR deve ser baseada numa análise rigorosa das suas principais características de produção, do tipo dos solos, das actividades culturais efectuadas, da possibilidade de integração de outro tipo de resíduos orgânicos e da susceptibilidade ambiental da região.

A solução a encontrar deve considerar elevado nível de flexibilidade de forma a se adaptar a novas exigências legais e à evolução das quantidades de *bioresíduos* gerados. Em cada região poderá haver uma modelo de gestão de lamas assente em soluções tecnológicas diferentes de forma a responder de forma adequada às necessidades locais.

O produtor das lamas ou a empresa responsável pela sua gestão tal como é estabelecido na legislação deverão ser responsáveis pela forma como irão ser utilizadas/valorizadas estas lamas.

Para além da preparação adequada do biosólido, tendo em conta a sua utilização, deverá assegurar-se o acompanhamento da respectiva aplicação.

2.4.1 Impactes no ambiente e na saúde pública

Devido ao seu elevado teor em matéria orgânica, as lamas têm tendência a desenvolver condições anaeróbias, fermentando, entrando em putrefacção e, por conseguinte, gerando efeitos prejudiciais, quer para o ambiente quer para a saúde pública.

Quando depositadas no solo sem qualquer tratamento, as lamas libertam gases tóxicos, resultado da decomposição, o que origina poluição atmosférica e riscos para o Homem, além dos óbvios odores intensos que causam incómodo. Os metais pesados que potencialmente se encontram na constituição das lamas (devido à potencial descarga de águas residuais industriais na rede de drenagem pública de águas residuais) irão infiltrar-se no solo, com consequente contaminação deste e das águas subterrâneas. Os metais pesados têm um efeito cumulativo e tóxico, pelo que, a ingestão de alimentos produzidos no solo contaminado e a utilização destas águas de má qualidade pode ser letal para o Homem.

Relativamente aos microrganismos patogénicos, estes irão proliferar quer no solo, superficialmente ou por infiltração, quer nas águas subterrâneas, pelo que, além das evidentes contaminações ambientais, serão causa de proliferação de doenças.

As principais técnicas utilizadas para o tratamento das lamas, tendo em vista a sua adequada aplicação encontram-se na Figura 7.

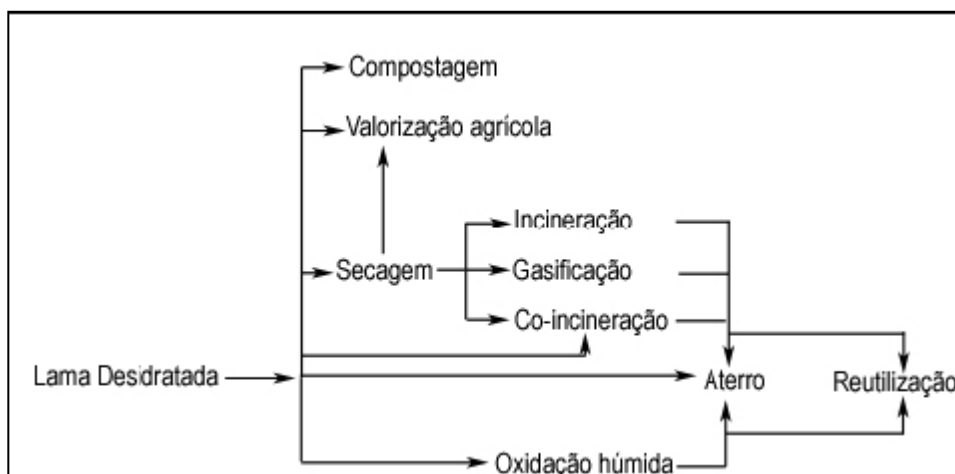


Figura 7 - Técnicas utilizadas na Gestão de lamas

De acordo com a EEA (European Environment Agency), quer na EU -15 quer em Portugal, os destinos finais das lamas de depuração que mais se praticam são a valorização agrícola, a deposição em aterro e a incineração. Há no entanto carência de dados relativos a alguns países.

2.4.2 Valorização agrícola

As técnicas de Valorização Agrícola consistem na aplicação das lamas no solo como correctivo e/ou fertilizante, visando sempre a protecção da qualidade dos solos, das águas subterrâneas e superficiais. Para além do já referido, a deposição das lamas nos solos constitui uma mais-valia do ponto de vista agronómico e ambiental

A valorização agrícola, sempre que tomada como opção, é praticada de acordo com a legislação em vigor e mediante a autorização das entidades oficiais competentes. Assim, a aplicação da lama no solo tem de ser precedida por um tratamento prévio que possibilite a redução da humidade, substâncias orgânicas poluentes e organismos patogénicos presentes na lama.

A importância da aplicação das lamas nos solos resulta dos seus elevados teores em matéria orgânica, azoto, fósforo, cálcio e outros elementos minerais. Sendo a maioria dos solos agrícolas portugueses pobres em matéria orgânica, a deposição de lamas permite ultrapassar este problema de forma económica.

No entanto, os benefícios para os solos e culturas só se verificam se a aplicação das lamas for efectuada correctamente, respeitando as épocas, técnicas de aplicação e quantidades a depositar, as condicionantes do solo, clima e das culturas agrícolas.

As desvantagens desta opção prendem-se com a necessidade de estabelecimento de acordos com os proprietários de zonas agrícolas dispostos a receber as lamas, e ainda com a necessidade de armazenamento de lamas. Ainda de referir que a aplicação no solo deve ser realizada num prazo máximo de dois dias após a entrega da mesma.

A deposição de lamas contendo elevados teores em metais pesados nos solos pode ser particularmente grave, quer pela capacidade de se acumularem nos tecidos vegetais e animais, quer pelas repercussões nocivas que podem ter na qualidade sanitária dos produtos agrícolas ou animais.

Quanto ao tipo de culturas, diversos estudos indicam que essa acumulação ocorre mais rapidamente em produtos hortícolas do que em culturas extensivas de cereais.

2.4.3 Incineração

A Incineração a altas temperaturas é a solução mais drástica encontrada como destino final das lamas resultantes dos processos de tratamento.

A redução do volume de lamas é deveras elevada, obtendo-se apenas cinzas com um teor em humidade de cerca de 10%. (NUVOLARI, 2003).

As cinzas de incineração, apesar do seu reduzido volume, podem conter concentrações elevadas em metais pesados, tornando o seu destino final num novo problema de gestão de resíduos, recorrendo-se normalmente à deposição em aterro sanitário.

Apesar de existirem vários processos de incineração de lamas, o mais utilizado é o Leito Fluidizado (Mathews, 1992).

A incineração reduz drasticamente o volume final das lamas no entanto possui custos associados muito elevados devido à mão de obra necessária, ao combustível necessário para o arranque (o restante combustível requerido para manter o processo advém da própria lama devido ao elevado calor específico que compreende).

Outros factores menos positivos são a necessidade das etapas de tratamento a montante pois apenas se efectua a incineração a lamas desidratadas, a necessidade do incinerador ser dotado de um sistema de lavagem e/ou purificação dos gases gerados para evitar poluição atmosférica pelo lançamento de partículas poluentes na atmosfera e ainda a toxicidade das cinzas e a sua deposição em segurança por longos períodos de tempo.

Apesar do que foi já referido algumas cidades japonesas, europeias e norte-americanas utilizam a incineração como destino final das suas lamas. Este facto explica-se em alguns casos devido às grandes distâncias entre as cidades e as áreas rurais, impedido a utilização das lamas na agricultura; devido ao excesso de elementos potencialmente tóxicos nas lamas ou ainda devido à falta de espaço para deposição de lamas em aterro.

2.4.4 Deposição em aterro

Um aterro constitui uma unidade física utilizada para deposição de resíduos sólidos na superfície terrestre.

Os resíduos são lançados ordenadamente e cobertos com terra ou material similar, existindo um controlo sistemático de águas lixiviantes e gases produzidos durante e após o encerramento.

Esta solução é de todo uma solução inadequada na medida em que não são usufruídas as características orgânicas e energéticas contidas na lama. Atendendo às elevadas quantidades de lama produzidas é também uma solução muito dispendiosa, visto que a deposição em aterro tem um custo por tonelada de lama depositada.

Para além destes aspectos negativos é ainda de salientar o facto de que a deposição das lamas contribui para a ocupação de espaço em aterro e contribui ainda em larga escala para a formação de lixiviados.

Contudo, esta é uma das soluções mais utilizadas para o destino final das lamas resultantes do tratamento de águas residuais em diversos países. A legislação em vigor nos países comunitários, conscientes das consequências adversas, promove a diminuição gradual da deposição de resíduos em aterro, tendendo desta forma a desvalorizar esta prática. A deposição em aterro é considerada como a última solução no que compete à gestão de resíduos.

2.4.5 Compostagem

A compostagem de lamas é um processo de transformação de lamas num recurso de valor agronómico.

É um processo de valorização dos biosólidos provenientes do tratamento de águas residuais, em que, sob condições aeróbias controladas, decorre a decomposição biológica e a estabilização da matéria orgânica.

Desta forma, para além de haver uma redução drástica do volume de lamas, é obtido um composto orgânico, higienizado, isento de sementes, que permite a sua manipulação, armazenamento e respectiva aplicação no solo. Este composto para além de não acarretar nenhum tipo de impacto negativo para o ambiente consiste num óptimo fertilizante, capaz de melhorar e enriquecer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A compostagem é considerada como uma das opções de gestão de lamas mais vantajosa, quer a nível económico como ambiental, sendo uma prática difundida pela Europa e Estados Unidos.

Em Portugal Norte existe apenas uma central de compostagem de lamas na ETAR da Parada – Maia, com uma produção média de 8 a 10 toneladas diárias de composto, que são facilmente escoadas para a jardinagem e para a agricultura.

Apesar de todos os benefícios da prática de compostagem deste resíduo, é necessário ter em consideração todos os investimentos necessários, assim como a necessidade de produção de lamas suficientes para formação do composto, a necessidade de um material estruturante em quantidade e qualidade suficientes para o processo e a existência de um mercado que seja capaz de escoar o produto.

2.5 Legislação

Com a entrada de Portugal para a União Europeia surgiu a necessidade de adaptação da legislação vigente às normas europeias. Nos últimos anos tem-se verificado um despoletar de legislação, sendo que um dos sectores mais notável foi a protecção do ambiente.

As normas ambientais da UE foram sendo desenvolvidas ao longo de décadas em resposta a toda uma variedade de problemas, tendo-se tornado progressivamente mais exigentes e eficazes.

Observa-se hoje em dia uma luta acrescida pela protecção do ambiente, e por consequência, uma luta pela protecção da saúde pública. Assim verificam-se medidas concretas em diversas áreas como as alterações climáticas, a preservação da diversidade, a redução dos problemas de saúde causados pela poluição e a utilização responsável dos recursos naturais.

Com a entrada em vigor da diversa legislação inerente à drenagem e tratamento de águas residuais e gestão de lamas, verifica-se uma melhoria acentuada da qualidade das grandes massas de água e uma diminuição de outros problemas ambientais resultantes do tratamento destas águas e do destino final das lamas.

Tabela 1 - Legislação aplicável à gestão de lamas

Instrumento Legal Comunitário	Instrumento Legal Nacional	Deposições Gerais
Directiva nº 99/31/CE	DL 183/2009	Regulamentação da deposição de resíduos em aterro
Directiva nº 86/278/CE	DL nº 276/2009	Regulamentação da deposição de lamas em solos agrícolas

2.5.1 Deposição de resíduos em aterro – DL 183/2009

O DL nº 183/2009 veio revogar o DL nº 152/2002, transpondo para o direito nacional a Directiva nº 99/31/CE referente à deposição de resíduos em aterros.

Este Decreto visa regular os requisitos gerais a observar na concepção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, incluindo as características técnicas e específicas para cada classe de aterros, destinados a resíduos, de forma a evitar ou a reduzir tanto quanto possível os efeitos negativos sobre o ambiente, quer à escala local, em especial a poluição das águas de superfície, das águas subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana.

Desta forma, estabelecem-se aqui as características técnicas específicas das diferentes classes de aterros existentes.

Visto que as lamas resultantes do tratamento de águas residuais são classificadas como um resíduo não perigoso, podem ser depositadas em aterro, desde que com uma humidade inferior a 35% em peso.

Apesar disto, e tal como é referido no mesmo Decreto, o Instituto dos Resíduos, em articulação com as direcções regionais do ambiente e do ordenamento do território, definiu em 2002 a estratégia nacional para a redução dos resíduos urbanos biodegradáveis destinados aos aterros. Com isto, até 2013 a quantidade em peso de resíduos urbanos biodegradáveis depositados deverá ser reduzida para 50% do valor registado em 1995. Para tal, a fracção de resíduos orgânicos depositada em aterro tende a ser progressivamente menor, favorecendo a sua valorização. Visto que as lamas são um resíduo biodegradável, com elevado potencial de valorização, esta valorização será tida como opção, sempre que possível, em detrimento da sua deposição. Até 2020 a quantidade depositada dos referidos resíduos deverá ser reduzida para 35% da quantidade total de resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

2.5.2 Utilização agrícola de lamas de depuração – DL 276/2009

O presente Decreto-lei estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho. Tem como fundamento evitar efeitos nocivos para o homem, para a água, para os solos, para a vegetação e para os animais, promovendo a correcta utilização das lamas de depuração, visando um destino final adequado e seguro das mesmas.

Com a revogação do anterior decreto, DL n.º 118/2006, introduziram-se algumas actualizações, sobretudo na simplificação e agilização do procedimento de licenciamento da actividade.

Desta forma, e tal como o Decreto-lei que aqui se revoga, este novo regime dispõe sobre requisitos de qualidade para as lamas e para os solos, verificáveis através da conformidade das análises requeridas com os valores limite estabelecidos. São definidas um conjunto de restrições à utilização das lamas no solo e previstos procedimentos específicos de aplicação das lamas, bem como deveres de registo e informação por parte dos operadores de gestão de lamas.

Tal como referido no seu Artigo 2º, este Decreto aplica -se à utilização em solos agrícolas, de lamas de depuração provenientes de estações de tratamento de águas residuais domésticas, urbanas, de actividades agro -pecuárias, de fossas sépticas ou outras de composição similar - provenientes do tratamento de efluentes de preparação e processamento de frutos e legumes, óleos alimentares, café, conservas, da indústria dos lacticínios, da pasta do papel entre outros.

Neste documento são estabelecidas limitações à aplicação das lamas em solos agrícolas, no que compete à concentração de metais pesados, poluentes orgânicos e organismos patogénicos, restrições geográficas e climatéricas de aplicação das lamas nos solos e restrições inerentes às alturas de vegetação e colheita de determinadas culturas. Entre estas restrições constam alturas do ano em que é estritamente proibida a deposição de lamas em solos agrícolas.

3. DIGESTÃO DE LAMAS

Tal como anteriormente referido, as lamas resultantes do processo de tratamento de águas residuais necessitam de um destino final adequado. Para que estas possam ser adequadamente solucionadas, necessitam de um tratamento adicional para que ocorra a mineralização da matéria orgânica. Desta forma, a matéria orgânica poderá ser mineralizada por meio aeróbio ou anaeróbio.

3.1 Digestão Aeróbia

Ambos os processos de digestão anaeróbia e aeróbia são de extrema importância pois assumem um papel essencial na mineralização da matéria orgânica, combatendo a sua putrefacção e evitando os problemas associados, quer ao nível ambiental quer a nível de saúde pública.

A digestão aeróbia é realizada, quer para a redução do volume de lamas, quer para a redução do teor em matéria orgânica presente na lama. Nestas condições, grande parte da matéria orgânica presente na lama é oxidada a dióxido de carbono e água. Deste processo resulta uma redução do teor em sólidos voláteis, ou seja matéria orgânica de cerca de 50%.

Normalmente este tipo de digestão é apenas utilizado para as lamas biológicas, provenientes do tratamento secundário.

O composto resultante é uma lama mineralizada de difícil biodegradação.

3.1.1 Vantagens do recurso à digestão aeróbia

De uma forma sucinta podem-se considerar algumas vantagens do recurso à digestão aeróbia em alternativa à digestão anaeróbia:

- Simplicidade de operação e manutenção;
- Custos de capital reduzidos;
- Valores mais reduzidos de Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO) e de fósforo no sobrenadante;
- Menores efeitos da turbulência originada (presença de interferências tóxicas, alterações de pH, entre outros);
- Odores menos ofensivos;
- Maior redução de gorduras e sólidos solúveis;
- Formação de adubo com maior poder fertilizante;
- Período de retenção inferior;
- Alternativa eficaz para pequenas estações de tratamento de águas residuais.

3.1.2 Desvantagens do recurso à digestão aeróbia

Para além das vantagens inerentes a este processo, é importante salientar e ter em conta as desvantagens a ele associadas:

- Custos operacionais mais elevados, em particular os custos associados ao consumo de energia;
- Operação altamente sensível à temperatura ambiente do processo;
- Menor redução de sólidos voláteis;
- Não ocorre a formação de metano;
- Economicamente desfavorável para estações de tratamento de grandes dimensões.

3.2 Digestão Anaeróbia

A utilização do processo de digestão anaeróbia para estabilização de efluentes e produção de energia não é uma ideia nova, tendo sido utilizada pelo menos nos últimos 100 anos para estabilizar, desinfectar e desodorizar lamas resultantes dos processos de tratamento aeróbio de efluentes domésticos. A primeira referência à aplicação do processo de digestão anaeróbia para o tratamento de efluentes data de 1860, num relato do francês Louis Mouras que descreveu a liquefacção da matéria orgânica de um efluente doméstico em condições anaeróbias.

A digestão anaeróbia, DA, consiste num processo no qual os resíduos orgânicos sofrem um processo de degradação, por acção de microrganismos anaeróbios, na total ausência de oxigénio. Trata-se de um processo que ocorre naturalmente quando as condições envolventes o propiciam e apresenta como um dos principais produtos o metano, gás com elevado potencial energético.

A DA é um processo complexo onde ocorrem trocas recíprocas de substratos e produtos entre as fases sólida, líquida e gasosa, sendo por isso fundamental a existência de uma relação equilibrada e coordenada entre os diferentes grupos tróficos bacterianos presentes.

O processo de degradação ocorre por acção combinada de diferentes populações microbianas, anaeróbias facultativas ou anaeróbias obrigatórias, segundo quatro etapas principais.

3.2.1 Etapas da Digestão Anaeróbia

Primeira fase – Hidrólise

Esta fase inicial do processo consiste na conversão dos biopolímeros (proteínas, hidratos de carbono e lípidos) nos seus monómeros (aminoácidos, açúcares e ácidos gordos de cadeia

longa, respectivamente), através da acção de enzimas extracelulares. Desta forma a matéria orgânica que se encontra agora numa forma menos complexa fica apta a ser degradada pelos microrganismos presentes no processo.

É normalmente um processo lento, sendo os lípidos, no caso geral, hidrolisados mais lentamente do que as outras macromoléculas.

É importante referir que nem toda a matéria orgânica é biodegradável pelo que pode existir uma fracção particulada e/ou solúvel que seja anaerobiamente inerte.

A conversão de substâncias particuladas em substâncias dissolvidas é feita através de enzimas exógenas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas.

De entre os factores que afectam o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado, salientam-se a temperatura operacional do reactor, o tempo de residência do substrato no reactor, composição do substrato, pH do meio e concentração de produtos de hidrólise.

Este método possibilita um maior rendimento na produção de metano, reduzindo também o tempo de digestão.

Segunda fase – Acidogénese

As substâncias resultantes da etapa anterior são então metabolizadas no interior das células bacterianas fermentativas, sendo convertidas em diversos compostos intermediários mais simples.

Os compostos intermediários resultantes desta fase são ácidos gordos voláteis, dióxido de carbono e hidrogénio. Sendo que o principal composto formado neste processo são os ácidos gordos, as bactérias envolvidas denominam-se bactérias fermentativas acidogénicas.

A maioria das bactérias acidogénicas é estritamente anaeróbia, no entanto cerca de 1% são bactérias facultativas, que podem degradar o substrato orgânico por via oxidativa. A existência destas bactérias facultativas em meio anaeróbio é particularmente importante uma vez que estas poderão proteger as demais da eventual presença de oxigénio que possa ocorrer no processo (Nuvolari, 2003).

A população acidogénica representa cerca de 90% da população bacteriana total dos digestores anaeróbios e apresenta reduzidos tempos de duplicação, pelo que esta nunca é considerada como etapa limitante do processo.

Terceira fase – Acetogénese

A etapa da acetogénese consiste na decomposição dos produtos da acidogénese em acetato, dióxido de carbono e hidrogénio.

Esta decomposição processa-se por acção das bactérias homoacetogénicas e das bactérias sintróficas (também denominadas produtoras obrigatórias de hidrogénio).

As bactérias homoacetogénicas produzem acetato a partir de H_2/CO_2 ou de compostos orgânicos multicarbonados (ex: açúcares). A sua capacidade de utilizarem uma grande variedade de substratos pode ser um factor determinante da sua presença em digestores anaeróbios.

Quarta fase – Metanogenese

As bactérias metanogénicas concretizam a fase final do processo de digestão anaeróbia. Estas bactérias pertencem ao grupo das Arqueobactérias, degradando apenas um número limitado de substratos. Assim, o metanol, ácido acético, hidrogénio e o dióxido de carbono são convertidos em metano.

As bactérias metanogénicas podem ser divididas em dois grupos principais, em função da afinidade para determinado substrato e ainda pela magnitude da produção de metano; um grupo que gera metano a partir do ácido acético - bactérias acetoclásticas, e o outro grupo que produz metano a partir do hidrogénio e do dióxido de carbono – hidrogenotróficas (Chernicharo, 1997).

Considerando o metano como um gás com elevado potencial energético pode-se considerar esta como a etapa mais relevante do processo, sem descartar contudo a importância e necessidade de ocorrência das etapas anteriores para a produção deste composto.

Esta etapa é muitas vezes o passo controle da globalidade do processo de digestão anaeróbia.

Durante as quatro fases já referidas, ocorre a sulfitogénese.

Esta reacção, dependente das características das águas residuais tratadas, nem sempre ocorre e tal ocorrência é indesejável. A sulfitogénese pode eventualmente ocorrer quando as águas tratadas contêm compostos de enxofre e se encontram em condições favoráveis à sua produção, pela redução de sulfatos (Nuvolari, 2003).

A produção de sulfitos é uma reacção na qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceitadores de electrões durante a oxidação de compostos orgânicos.

Estas reacções ocorrem pela acção de um grupo de bactérias (essencialmente anaeróbias), denominadas bactérias redutoras de sulfato.

Com esta reacção no reactor produz-se metano (metanogénese) e sulfitos (pela redução do sulfato).

Segundo Visser (1995), *apud* Chernicharo (1997) a produção destes compostos pode originar graves problemas no digestor, entre os quais:

- A redução do SO_4^{2-} originando ácido sulfídrico (H_2S), inibidor do metabolismo das bactérias metanogénicas;
- O H_2S presente na fase gasosa pode originar mais problemas, como mau odor e corrosão. Desta forma, quando se verifica a existência deste gás misturado com o

biogás que se pretende valorizar, exige um custo adicional para instalação de uma unidade de purificação deste mesmo biogás;

- No efluente líquido este componente causará uma elevada carência de oxigénio e mau cheiro. Dependendo das concentrações de composto verificadas será necessária uma etapa de pós tratamento adicional;
- Para uma mesma quantidade de matéria orgânica presente na água residual tratada, a ocorrência de sulfotogénese diminui a quantidade de metano produzido. A CQO é consumida pela presença de SO_4^{2-} , havendo menor disponibilidade de matéria orgânica para produção de metano.

3.2.2 Vantagens da implementação de sistemas de digestão anaeróbia

De entre as vantagens referentes à degradação da matéria orgânica por via anaeróbia, podem-se destacar:

- Obtenção de lucros consideráveis a partir de resíduos orgânicos, oriundo da venda de energia renovável e da possível venda de composto;
- Utilização da energia formada a partir do metano em substituição de energia proveniente de combustíveis fósseis;
- Redução das emissões de gases de efeito de estufa comparativamente a outros métodos de tratamento;
- Solução que permite alcançar as metas exigidas na Directiva Comunitária de redução de deposição de resíduos orgânicos em aterro sanitário;
- Potencial de adaptação às diversas especificações de cada projecto.

3.2.3 Desvantagens da implementação de sistemas de digestão anaeróbia

Não obstante, existem, no entanto, alguns aspectos que devem ser alvo de particular atenção por terem implicações directas na viabilidade económica do projecto, como é o caso de:

- Baixa tarifa de venda de energia eléctrica produzida a partir de processos de digestão anaeróbia;
- Necessidade de alimentação de matéria orgânica constante, assim como avaliação da influência do tipo de matéria orgânica na qualidade final de composto;
- O biogás pode ter muitas utilizações, no entanto, mediante a sua utilização final, poderá ter que sofrer um tratamento.

3.2.4 Descrição do Processo

A digestão anaeróbia é um método adequado para o tratamento de resíduos de instalações pecuárias, indústrias agro-alimentares, estações de tratamento de águas residuais, produtores agrícolas e para tratamento de resíduos orgânicos em sistemas de gestão de resíduos.

Um processo de tratamento por digestão anaeróbia tem na tecnologia uma forma de adaptação a diferentes necessidades processuais.

Nos últimos 25 anos, assistiu-se a enormes avanços no desenvolvimento da tecnologia em digestão anaeróbia, nomeadamente no desenho de reactores de alta carga aplicados ao tratamento de efluente líquidos, em que a biomassa é retida por adesão a suportes, granulação ou reciclagem. Desde o final dos anos sessenta, com o aparecimento do filtro anaeróbio de fluxo ascendente até à actualidade, surgiram novas configurações de digestores, nomeadamente filtros anaeróbios de fluxo descendente, reactores anaeróbios de leito fluidizado, reactores de fluxo ascendente de manto de lamas (“Upflow Anaerobic Sludge Blanket” - UASB), reactores híbrido (UASB + Filtro) e Reactores de manto de lamas de leito expandido (“Expanded Granular Sludge Blanket” – EGSB). Os reactores UASB e EGSB são apenas utilizados para digestão anaeróbia de efluentes industriais, não sendo adequados para digestão de lamas de estações de tratamento de águas residuais.

Existem actualmente no mercado diversos modelos de digestores anaeróbios, com características diversas, o que confere a esta tecnologia uma invulgar adaptabilidade a ambientes e necessidades distintas.

De uma forma simples, os digestores são tanques cobertos, dotados normalmente dos seguintes dispositivos: dispositivo de entrada de lamas a digerir, de mistura, de colecta de gases, de recolha de espumas formadas e de sobrenadantes, de remoção da lama digerida. Em muitos casos apresenta também um dispositivo de aquecimento (serpentina permutadoras de calor, injeção directa de vapor, permutador de calor, banho – Maria, tubo – camisa, entre outros).

A água quente utilizada nos sistemas de aquecimento dos digestores é normalmente aquecida com recurso ao metano gerado na digestão, tendo no entanto que se prever uma fonte de energia alternativa.

Existem dois tipos básicos de reactores que podem ser utilizados para processos de digestão anaeróbia, em batch e em contínuo.

Num processo *batch* ou *descontínuo*, a matéria orgânica é introduzida na totalidade no reactor, ficando retida durante um determinado período de tempo até ao final da degradação. Isto implica que as diferentes fases de degradação ocorram sequencialmente e que a produção de biogás se processe de forma descontínua.

Num processo *contínuo*, a matéria orgânica está continuamente a ser adicionada ao reactor com consequente saída contínua de matéria tratada, permitindo que o volume se mantenha constante ao longo do tempo. Nesse sentido as reacções ocorrem simultaneamente produzindo biogás de forma contínua.

Os modelos de digestores anaeróbios podem ainda ser agrupados segundo o número de fases do processo, apenas um reactor ou reactores em série.

Um tratamento de resíduos por digestão anaeróbia em reactores em série permite a separação das fases de hidrólise da fase de metanogénese. Este método pode apresentar vantagens, essencialmente no que diz respeito à eficiência do processo, aumentando a produção de metano. Isto deve-se ao facto de os microrganismos de ambas as fases apresentarem necessidades ambientais distintas. Os microrganismos responsáveis por efectuar a hidrólise e acidogénese têm adaptabilidade a meios com propriedades ácidas.

O mesmo não acontece com as metanogénicas, que exigem um ambiente neutro.

Os reactores em série apresentam ainda uma possibilidade de atribuir às diferentes fases de degradação gamas de temperatura distintas, ocorrendo no primeiro reactor uma fase termofílica do processo e no segundo reactor uma fase mesofílica. As condições termofílicas do primeiro reactor são indicadas para eliminação de microrganismos patogénicos e aumento da remoção de sólidos voláteis.

Um outro factor relevante na selecção da tecnologia a aplicar é o teor de humidade dos resíduos. A digestão pode ser efectuada mediante diferentes teores de humidade: digestão por via húmida, com uma percentagem de sólidos inferior a 15% e digestão por via seca, com percentagem de sólidos compreendida entre 25 a 30%. Estes intervalos apresentam implicações a nível tecnológico e económico: uma maior percentagem de sólidos propicia a utilização de reactores mais pequenos e de menor investimento, enquanto que uma maior percentagem de água possibilita melhores condições de mistura, no entanto, implica maior necessidade de consumo de energia e reactores de maiores dimensões.

Apesar de o principal pólo consistir no digestor em si, existem infra-estruturas de pré e pós tratamento que são necessárias ao funcionamento do sistema, entre as quais, locais de recepção e deposição de resíduos, contentor de biogás, entre outros.

3.2.5 Factores de controlo da digestão anaeróbia

Segundo Qasin (1999), os factores de controlo mais importantes no processo são:

- Escolha das características físicas e operacionais inerentes ao projecto do digestor;
- Capacidade do digestor;
- Controlo da temperatura (sempre que for previsto o aquecimento);
- Mistura adequada no digestor;
- Produção e utilização dos gases gerados na digestão;
- Cobertura do digestor;
- Qualidade do sobrenadante e características da lama a digerir.

3.2.6 Factores que afectam a digestão anaeróbia

De entre vários factores que afectam a digestão anaeróbia, destacam-se:

- Tempo de retenção dos sólidos: O tempo de retenção necessário para que a DA decorra de forma eficiente, sendo possível obter quantidades de metano aprazíveis. Cada reacção envolvida no processo de DA necessita de um determinado tempo de retenção. Se o tempo de retenção total for inferior ao necessário, o processo de digestão pode ser inviabilizado. Normalmente são necessários tempos de retenção superiores a 20 dias para uma temperatura de 30°C e valores mais elevados de tempo de retenção para temperaturas inferiores;
- Grau de agitação: se a agitação da lama não for a adequada, não haverá um contacto adequado entre as bactérias e a lama a digerir, diminuindo assim a velocidade do processo. Por outro lado, uma mistura exagerada poderá favorecer as bactérias acidogénicas, provocando desequilíbrios no processo.
- Temperatura: No processo de DA a temperatura tem elevada influência na determinação do rácio de digerido, particularmente no rácio de matéria hidrolisada e no rácio de produção de metano. A maior parte dos digestores opera em temperaturas mesofílicas, havendo no entanto muitos outros a operar na gama de temperaturas termofílica (existem já digestores a operar em combinado as duas gamas de temperaturas). Operando com temperaturas próximas das temperaturas óptimas de cada fase (30 a 38°C na gama mesofílica e 50 a 57°C na gama termofílica) possibilita-se que os microrganismos envolventes no processo suportem melhor uma carga tóxica e aumentem a sua actividade. Apesar de este ser um ponto essencial, é ainda mais importante evitar as alterações bruscas de temperatura que afectam de forma significativa a população microbiológica presente no digestor, principalmente as bactérias metanogénicas (Metcalf and Eddy, 2003).

Quanto menor for a temperatura a que se opera, maior será o tempo de retenção e o volume do digestor, a velocidade de digestão diminuirá bruscamente.

- Alcalinidade: A alcalinidade presente num digestor é proporcional à concentração de sólidos no mesmo reactor. A alcalinidade total presente num digestor a operar nas correctamente, varia entre 2000 a 5000 mg/L (WEF, 1996).

O dióxido de carbono é o principal consumidor da alcalinidade no reactor (Speec, 2001). Com isto, a concentração de dióxido de carbono presente no reactor é reflectida nas necessidades de alcalinidade. A fim de se satisfazerem estas necessidades adiciona-se no digestor bicarbonato de sódio ou carbonato de sódio.

- Nutrientes (azoto e fósforo): Para que o crescimento dos microrganismos seja tal que permita uma boa digestão da matéria orgânica, é necessário que estes tenham ao seu dispor os nutrientes necessários. Por norma, apenas as águas residuais industriais necessitam da adição de nutrientes para uma adequada digestão das suas lamas. Assim, para se obter uma actividade metanogénica máxima, a concentração na fase líquida de azoto e fósforo é de 50 e 10 mg/L respectivamente. (Metcalf & Eddy, 2003);
- Compostos tóxicos (orgânicos e inorgânicos): É necessário proceder a diversas análises a fim de se determinar a presença destes compostos na lama digerir. A

presença de compostos tóxicos não é sinónimo de que o processo não possa decorrer. A presença de alguns compostos pode inibir a actividade metanogénica, no entanto com concentrações elevadas de biomassa e cargas baixas, o processo pode decorrer. Para prevenir a presença de compostos inibidores da digestão anaeróbia recorre-se normalmente a pré tratamentos para remover estes compostos. Por vezes realiza-se a separação de fases, de forma a que estes constituintes sejam degradados na fase acidogénica. De entre os compostos que podem inibir o processo, destaca-se: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , S^{2-} , Ni^{2+} , entre outros.

- Nitratos: A presença de nitratos nos digestores pode levar à sua conversão em N_2 pelo processo de desnitrificação. Este facto tem consequências na metanogénese. Para concentrações de nitratos de 10 mg/L a inibição da metanogénese é mínima, no entanto para concentrações na ordem dos 50 mg/L a inibição é considerada completa (NUVOLARI, 2003).
- Oxigénio: Num reactor anaeróbio a presença de oxigénio raramente é factor inibidor do processo devido à presença de uma grande variedade de bactérias facultativas que consomem o pouco oxigénio presente no processo. Salienta-se que para adições de oxigénio na ordem dos 1300 mgO_2/L se verifica a inibição da actividade bacteriana (Agardy, 1971).
- Sulfuretos e outros compostos de enxofre: As inibições relativas à presença destes compostos foram anteriormente abordadas. A toxicidade dos sulfetos pode ser evitada por arraste gasoso ou pela adição de metais pesados para promover a sua precipitação ou redução.

3.2.7 Viabilidade técnica e económica

Num projecto de digestão anaeróbia é necessário proceder a uma análise de viabilidade técnica e económica, que estará dependente das dimensões da instalação e consequente complexidade da estrutura.

A energia térmica obtida através de um sistema de digestão anaeróbia pode ter como possíveis aplicações o aquecimento do próprio digestor e das instalações auxiliares, reduzindo os custos da entidade. A venda deste tipo de energia a entidades situadas nas imediações dos sistemas de tratamento pode ser uma possibilidade, no entanto, não é prática comum em Portugal.

A energia eléctrica obtida através de um sistema de digestão anaeróbia terá como finalidade suprir as necessidades de energia eléctrica das instalações tornando-a auto-suficiente, e o excedente de energia poderá ser vendido à rede de distribuição com uma tarifa de energia renovável. Existe ainda a possibilidade de venda à rede nacional de toda a energia eléctrica produzida a tarifa de energia renovável, e compra da energia necessária ao funcionamento do sistema.

3.3 Produção de Biogás

3.3.1 Características do biogás

No processo de digestão anaeróbia, parte da matéria biodegradável é transformada em biogás, gás essencialmente constituído por metano e dióxido de carbono, resultando o excedente na produção de composto com possível valor comercial.

O biogás resultante varia em qualidade de acordo com a composição e biodegradabilidade da matéria orgânica presente na lama. Em média contém 65 a 70% de CH₄, 25 a 30% de CO₂ e uma pequena fracção de H₂S, N₂ e H₂ (Metcalf & Eddy, 2003). Quanto maior a percentagem de metano, maior o poder energético do biogás. Consequentemente, o poder energético do biogás varia entre 20 a 25 MJ/m³, de acordo com a quantidade de metano existente.

Em condições de temperatura e pressão standard o metano apresenta um poder calorífico inferior na ordem dos 35,800kJ/m³. Tendo em consideração que o digestor contém apenas 65% de metano, o poder calorífico inferior do gás digerido é de cerca de 22 400kJ/m³, inferior ao do gás natural (37 300kJ/m³) (Metcalf & Eddy, 2003).

A velocidade de produção de biogás é fortemente influenciada pela temperatura, podendo-se trabalhar em condições mesofílicas (30-38 °C) ou termofílicas (50-57 °C).

Os microrganismos produtores de metano são sensíveis à variação de temperatura e como tal é necessário assegurar uma temperatura estável, seja através do aquecimento interno ou implementando um isolamento térmico da câmara de digestão durante os meses de inverno.

Salienta-se ainda que durante o arranque do processo de digestão podem ocorrer taxas de produção excessiva de gás, o que pode originar a formação de espuma.

3.3.2 Determinação da quantidade de biogás gerado

A produção de biogás pode ser determinada pela equação 1

$$V_{CH_4} = (0,35) * [(S_0 - S) * Q * (10^3 \text{ g/kg})^{-1} - 1,42 * P_x] \quad [\text{Equação 1}]$$

sendo:

- V_{CH₄}: volume de metano produzido em condições padrão (0°C e 1 atm) (m³/d);
- 0,35: factor de conversão para a quantidade de metano produzido (m³) pela conversão de 1kg de CQO;
- Q: caudal (m³/d);
- S₀: CQO no efluente (mg/L);
- S: CQO no afluente (mg/L).

A determinação da formação de biogás pode ainda ser determinada a partir da quantidade de sólidos voláteis reduzidos, assim esta varia entre 0,75 a 1,12 m³/kg de sólidos voláteis destruídos.

A produção de gás pode variar de uma forma acentuada, dependendo do teor de sólidos voláteis contidos na lama a digerir e da actividade biológica no digestor.

3.3.3 Valorização do biogás

O interesse do biogás como recurso energético deve-se ao seu principal constituinte, o metano. Este composto possui um elevado poder calorífico que torna a sua queima para produção combinada de energia térmica e eléctrica muito oportuna. Por outro lado, a sua libertação para a atmosfera tem efeitos nocivos devido ao seu elevado potencial de aquecimento global.

Apesar de existirem diversas utilizações possíveis para o biogás gerado, a opção mais interessante baseia-se no aproveitamento do calor gerado para processos em que seja necessário, tais como a manutenção do processo anaeróbio, e ainda a produção de electricidade que pode ser exportada para a rede de distribuição com uma tarifa de energia renovável.

A energia eléctrica produzida num processo de digestão anaeróbia pode ter várias aplicações, entre as quais:

- Produção apenas para utilização interna;
- Produção em regime especial;
- Micro-produção para auto-consumo.

Em grandes centrais, o gás obtido pode ser utilizado como combustível para caldeiras e motores de combustão interna, que são por sua vez utilizados para bombagem de águas residuais e produção de energia, entre outros. A água quente proveniente das caldeiras pode ser utilizada para aquecimento de lamas, aquecimento de edifícios, ou então podem ser utilizadas caldeiras a gás.

O biogás formado na DA é muitas vezes utilizado na cogeração. Este processo é geralmente definido como um sistema de produção de electricidade e de uma outra forma de energia, geralmente calor. O gás pode originar energia através de um gerador e a água quente obtida pode ser utilizada para vários fins, aquecimento de lamas, entre outros.

A energia excedente pode ser vendida à rede eléctrica obtendo-se rendimentos financeiros.

Para obter os melhores níveis de eficiência no processo de cogeração os grupos devem funcionar com horários que permitam consumos de energia à rede eléctrica em tarifários mais favoráveis (de vazio), no entanto tem de se ter em conta as consequências nas temperaturas dos digestores (principalmente no Inverno). Desta forma será mais vantajoso dar continuidade

à cogeração em períodos de vazio tarifário a ter de optar por parar e aguardar pelo horário mais favorável.

3.3.4 Purificação do biogás

Devido ao facto de o gás obtido conter na sua composição, para além de metano, sulfureto de hidrogénio, azoto, partículas e vapor de água, este gás tem que ser purificado. A purificação pode ser efectuada recorrendo a purificadores a seco ou húmido, sempre antes de ser utilizado em motores de combustão interna.

Quando o H₂S se encontra em excesso (na ordem dos 100ppm) é necessária a instalação de equipamento de remoção deste composto.

3.3.5 Situação em Portugal

O potencial de produção de energia eléctrica com base no Biogás está estimado segundo a DGE (Direcção Geral de Energia e Geologia) em cerca de 886 GWh/ano, distribuído pelas seguintes fontes:

Tabela 2 - Potencial de produção de biogás em Portugal com origem no biogás. Fonte: Energias Renováveis 2001

Fonte	Energia eléctrica· [GWh/ano]	Potência Eléctrica [MW]
Agro-alimentar	120	31
Agro-pecuário	226	59
ETARs	157	41
RSU (aterros)	383	99

Segundo a mesma fonte, a viabilidade económica da digestão anaeróbia das lamas com consequente produção de biogás nas ETARs domésticas exige um valor mínimo de população situado nos 15.000 habitantes.

Nestes aproveitamentos grande parte do calor gerado é consumido directamente no processo de digestão das lamas e, eventualmente, na secagem das lamas, não sendo uma mais-valia energética, a menos que a produção de biogás seja elevada.

A produção eléctrica estimada de 157 GWh/ano com base no biogás corresponde ao aproveitamento em 75% das lamas geradas nas ETARS a nível nacional.

4. COMPOSTAGEM

O processo de compostagem é definido como a decomposição e estabilização de substratos orgânicos, que ao serem sujeitos a certas condições, como temperatura, pH, arejamento, entre outras, resultam num composto final estável (Haug, 1993).

Este composto final é livre de agentes patogénicos e outros contaminantes, possuindo as condições necessárias para poder ser aplicado no solo. Sendo rico em matéria orgânica, constitui um fertilizante e um adjuvante capaz de melhorar e de enriquecer as propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, sendo possível a sua aplicação na agricultura e horticultura sem impactes ambientais negativos.

Durante o processo de compostagem, aproximadamente 20 a 30 % dos sólidos voláteis são convertidos em dióxido de carbono e água.

À medida que a matéria orgânica se decompõe, o composto aquece até temperaturas na gama entre os 50 e os 70°C, permitindo desta forma a destruição dos organismos patogénicos (Metcalf & Eddy, 2003).

O processo de compostagem pode ser realizado mediante condições aeróbias ou anaeróbias, sendo que a compostagem de lamas provenientes do tratamento de águas residuais municipais é essencialmente realizada sob condições aeróbias. É necessário ter em consideração que o processo nunca é na totalidade aeróbio. As grandes vantagens de se realizar a compostagem sob condições aeróbias são o facto de que nestas condições a decomposição da matéria orgânica se processa de uma forma mais acelerada, atingindo-se as temperaturas necessárias para a destruição dos organismos patogénicos, havendo ainda a minimização da libertação de odores mais ofensivos.

Os biosólidos que são estabilizados por processos aeróbios ou anaeróbios antes da compostagem originam uma redução das dimensões das instalações de compostagem até 40% (Metcalf & Eddy, 2003).

4.1 Processo Microbiológico

O processo de compostagem envolve uma complexa destruição da matéria orgânica. À medida que aumenta a degradação da matéria orgânica dá-se a formação de ácido húmico que contribui para a aquisição de um composto final estável.

Neste processo podem-se distinguir 2 períodos principais, um primeiro, de compostagem activa e um segundo de maturação, representados na Figura 8.

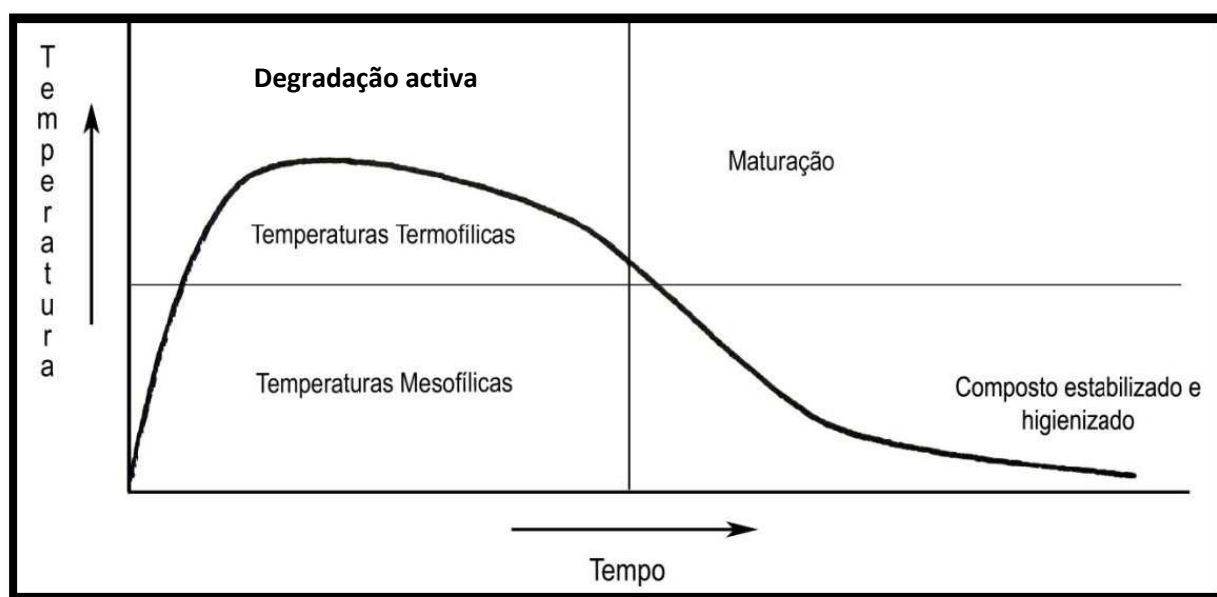


Figura 8 - Fases do processo de compostagem em função da temperatura da pilha, adaptado de Metcalf & Eddy, 2003

O primeiro período é caracterizado por uma actividade microbiológica intensa, favorecendo a degradação da matéria orgânica. No período de maturação dá-se uma diminuição acentuada da actividade microbiológica, ocorrendo a degradação da matéria orgânica restante no composto.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), a estes dois períodos estão associadas três fases distintas de actividade e temperaturas associadas.

Assim, no período de degradação activa, dão-se as fases mesofílica e termofílica, sendo que a última fase, a do arrefecimento é característica do período de maturação.

Na fase inicial, mesofílica, a temperatura no composto aumenta até cerca de 40°C devido ao aparecimento e actividade de fungos e bactérias produtoras de ácido. Nesta fase, verifica-se o aumento da actividade dos microrganismos e consequente libertação de energia devido à grande disponibilidade de matéria orgânica para degradação.

A temperatura continua a aumentar até serem atingidas temperaturas termofílicas, entre os 40 e os 70°C. Verifica-se então o desaparecimento dos microrganismos da fase anterior, que dão lugar a bactérias e fungos termofílicos. Esta é a fase de degradação e estabilização máxima da matéria orgânica, observando-se um pico de actividade e eficiência microbiológica.

Por último, o composto entra na fase de maturação. Esta fase desenvolve-se com temperaturas mais reduzidas que as fases anteriores e com actividades microbiológicas mais lentas.

A diminuição da temperatura é consequência da diminuição da actividade microbiológica. A actividade microbiológica diminui devido à diminuição de matéria a degradar e à acumulação de dióxido de carbono, consequência do consumo de oxigénio na respiração aeróbia. Verifica-se então o desaparecimento dos microrganismos existentes na fase anterior, dando espaço aos fungos e bactérias mesofílicos. Esta última fase é caracterizada pelo aumento da

evaporação de água do material em compostagem, pela estabilização do pH e ainda pela finalização da produção de ácido húmico.

Conclui-se do processo que é importante um controlo rigoroso da temperatura, visto que esta oscila ao longo da compostagem, interferindo na actividade dos microrganismos envolventes.

Dependendo da temperatura de cada fase, a actividade de alguns microrganismos é acelerada, enquanto que a de outros é inibida. Se por um lado se pretendem temperaturas suficientes para a eliminação de microrganismos indesejáveis, como o caso dos patogénicos, por outro lado não se pode inibir a actividade dos microrganismos essenciais para a degradação da matéria orgânica.

4.2 Descrição do Processo

Para que se verifiquem as condições adequadas à actividade dos microrganismos envolventes no processo de compostagem e se processe a degradação da matéria orgânica obtendo-se um produto final estável e com características próprias à aplicação no solo, é necessário seguir um conjunto de procedimentos.

De entre os procedimentos necessários ao processo de compostagem, destacam-se:

- Pré – processo: mistura da lama digerida com o agente estruturante;
- Elevada taxa de decomposição, arejamento da pilha de composto por insuflação de ar ou por revolvimento mecânico da pilha (podem-se verificar ambos os processos);
- Recuperação do agente estruturante (no final de uma etapa de elevada taxa de decomposição ou de cura, é possível);
- Continuação da cura e posterior armazenamento, o que permite uma maior estabilização e arrefecimento do composto;
- Pós-processo: Triagem para diminuição do volume e remoção de material não biodegradável, como vidro plástico ou metal;
- Deposição final. Antes da deposição final, uma porção do produto final é por vezes reciclado para o pré-processo a fim de ajudar no condicionamento da mistura do composto;

A etapa onde se verifica a elevada taxa de decomposição é a mais controlada devido à necessidade de controlo de odores, fornecimento de elevadas taxas de arejamento e preservação do processo de controlo.

Todo este processo referenciado pode ser executado recorrendo a diversos sistemas de compostagem.

De entre estes sistemas destacam-se as pilhas estáticas, pilhas estáticas arejadas, pilhas revolvidas e sistemas em reactor. Estes sistemas serão abordados em pormenor no capítulo 4.4.

As condições óptimas para a compostagem referem-se a um teor de humidade de cerca de 50%, uma taxa de C/N de cerca de 25 a 30, e uma temperatura de 55°C.

Devido às características das lamas, ricas em nutrientes e com teores de humidade elevados, a razão C:N é reduzida (5-10).

Para combater este facto, aproximando-se o processo das condições mais adequadas, adicionam-se materiais estruturantes ricos em lenhina (aparas de madeira, serragem, palha, casca de pinheiro, entre outros). Assim é possível ajustar a humidade, melhorar as condições de arejamento do composto e aumentar a razão C/N (United Nations Environment programme).

4.3 Factores Condicionantes do Processo de Compostagem

Existem diversos factores que interferem no processo de compostagem tendo influência na actividade microbológica e consequentemente na qualidade do produto final. Estes factores são:

- Razão C/N;
- pH;
- Inoculo;
- Arejamento e temperatura;
- Humidade;
- Granulometria.

4.3.1 Razão C/N

Apesar de os microrganismos necessitarem de vários nutrientes para a sua actividade (carbono, azoto, fósforo e potássio), os mais importantes são o carbono e o azoto.

O carbono é utilizado como fonte de energia para a actividade microbológica e para o crescimento das células, enquanto que o azoto é indispensável à síntese celular. À medida que se dá a decomposição da matéria orgânica, a disponibilidade de carbono vai diminuindo.

Durante o crescimento microbológico, aproximadamente 25 a 30 partes de carbono são necessárias por cada parte de azoto. (Epstein, 1997).

A razão C/N óptima depende dos materiais que são sujeitos a compostagem. Segundo Haug, 1993 recomenda-se uma razão C/N do material a compostar próxima de 30 para evitar que o azoto seja um nutriente limitante do processo. Segundo o United Nations Environment programme, esta razão poderá variar entre 25 a 30.

Valores reduzidos de C/N resultam numa perda de azoto por volatilização em forma de amónia, originando odores desagradáveis. Por outro lado, valores elevados não concedem uma alimentação suficiente à actividade dos microrganismos devido ao défice em azoto, resultando numa diminuição da actividade microbológica e da velocidade de compostagem.

Os problemas associados com uma elevada razão C/N podem ser ultrapassados com a remoção de parte da matéria carbonácea, ou então pela adição de azoto (Haug, 1997).

4.3.2 pH

O pH é um parâmetro extremamente selectivo, devido à sua influência na flora microbiana e no metabolismo dos microrganismos presentes no meio (Haug, 1993).

Valores extremos de pH, quer elevados quer reduzidos, dão origem a limitações na actividade dos microrganismos. Apesar de os microrganismos envolventes realizarem a sua actividade numa vasta gama de valores, é na gama de valores neutros que se obtêm maiores taxas de actividade. Assim, segundo Epstein, 1997 pode-se considerar como uma gama ideal valores entre 6,5 e 8. Segundo Metcalf & Eddy, 2003, esta gama é mais estreita, situando-se entre 7 e 7,5.

O processo de compostagem tem uma capacidade de moderar os efeitos de valores extremos de pH, tornando-os em valores mais próximos da gama neutra. Esta capacidade advém de o dióxido de carbono (ácido fraco) e a amónia (base fraca) serem libertados aquando da decomposição da matéria orgânica e desta forma neutralizarem o valor de pH. Como consequência, os ajustes de pH não constituem uma prática necessária (Haug, 1993).

Há no entanto situações em que são necessários determinadas correcções de pH, como nos casos em que se verifica um pH ácido no início do processo, ou quando são verificados valores superiores a 8,5 que promovem a conversão de compostos azotados em amónia, tornando o meio ainda mais alcalino.

4.3.3 Inoculo

A fim de se promover uma aceleração do processo, são adicionados ao material a compostar materiais num estado avançado de decomposição. Juntamente com este material em decomposição, são adicionados microrganismos adaptados às condições da pilha e que desta forma promovem o início da decomposição diminuindo o período de latência verificado no início do processo.

São conhecidos inúmeros estudos direccionados para verificar os efeitos da adição destes inoculos ao material a compostar e quais as vantagens deste método. Enquanto alguns autores conduzem estudos intensivos e não encontram qualquer tipo de benefício após a adição do inoculo (Golueke et al., 1994), outros discutem a controvérsia em volta dos benefícios deste sistema (Gray et al., 1971).

Contudo, não há ainda testemunhos concretos dos benefícios inerentes à adição de inoculo ao material a compostar (Epstein, 1997).

Salienta-se assim a importância da uma correcta preparação do material a compostar e da promoção das condições adequadas de mistura, temperatura, razão C/N, arejamento e uma manutenção adequada do sistema de compostagem promovendo assim de forma já comprovada uma compostagem elaborada de forma correcta e dentro de condições que promovem o seu processamento adequado e um composto final de qualidade.

4.3.4 Arejamento e temperatura

O arejamento e a temperatura são dois factores de elevada importância nas taxas de reacções bioquímicas.

À medida que as reacções bioquímicas se processam e a matéria orgânica é degradada, a temperatura aumenta. Devido à variedade de microrganismos envolventes no processo, existe uma gama alargada de temperaturas a que a pilha se encontra sujeita.

Apesar de existirem controvérsias acerca das temperaturas óptimas de compostagem devido aos diferentes materiais possíveis de compostar, é de salientar que devem ser mantidas temperaturas superiores a 55°C durante alguns dias a fim de se obter um composto final higienizado e isento de organismos patogénicos (Epstein, 1997).

Segundo Metcalf & Eddy, 2003, para se conseguirem melhores resultados, na fase inicial do processo as temperaturas deverão oscilar entre 50 e 55°C durante alguns dias e de seguida devem-se registar temperaturas na gama dos 55 a 60°C. De salientar que se as temperaturas aumentarem para os 65°C durante um período de tempo significativo, a actividade biológica será inibida.

Para que a actividade dos microrganismos possa decorrer, é necessário que se estabeleçam condições apropriadas para uma difusão de ar/oxigénio eficiente. Assim, e visto que os microrganismos envolventes no processo são aeróbios, a concentração de oxigénio na pilha deverá permanecer na gama entre 5 e 10% (Turovskiy e Mathai, 2006). Caso a concentração de oxigénio atinja valores inferiores a 5%, serão obtidas condições de anaerobiose impedindo o decorrer do processo.

O arejamento desempenha um papel fulcral no processo de compostagem, visto que para além de fornecer o oxigénio necessário ao processo, contribui para a eliminação de vapor de água e consequente secagem do material, possibilitando a libertação de calor e controlo da temperatura na pilha, evitando que esta iniba a actividade dos microrganismos (Haug, 1993). De salientar que um arejamento excessivo da pilha também contribui de forma inibidora ao processo, na medida em que dificulta o aumento da temperatura para a gama termófila.

Existem diversas formas de proceder ao arejamento do material a compostar, como o arejamento forçado, ventilação e viragem das pilhas. Para um arejamento eficiente é necessário que a pilha tenha uma humidade e uma porosidade adequada para possibilitar a difusão de ar ao longo da pilha.

4.3.5 Humidade

Os teores em humidade devem ser monitorizados e controlados ao longo do processo para que os microrganismos usufruam das condições adequadas para a degradação da matéria orgânica.

É necessário estabelecer um equilíbrio entre a humidade e os espaços livres da pilha ao longo de todo o processo, para que o aumento da temperatura não origine uma secagem excessiva da pilha.

A humidade é importantes na medida em que é em meio aquoso que se dão as principais reacções químicas devido à dissolução dos nutrientes, possibilita aos microrganismos a sua movimentação e permite o transporte de nutrientes.

A gama óptima de humidade é variável dependendo do autor considerado. Segundo Epstein, 1997, esta gama situa-se entre os 40 e os 65%, e segundo o *United Nations Environment programme*, este valor deve estar próximo de 50%.

O teor de humidade verificado nas pilhas depende da eficácia de arejamento e das características físicas dos resíduos (estrutura e porosidade).

Aquando do aumento das temperaturas, dá-se a vaporização de grandes quantidades de água, que podem baixar de forma excessiva os teores de humidade e inibir o processo. Este teor pode ser ajustado pela adição de água à pilha, quando os teores em humidade são reduzidos evitando também o sobreaquecimento da pilha.

Por outro lado, quando se pretende reduzir o teor em humidade pode-se ajustar o sistema de arejamento ou então adicionar à pilha correctores secos, como pó de madeira ou resíduos secos ou ainda proceder à reciclagem de material (Haug, 1993).

Existe uma necessidade elevada de ajuste deste parâmetro visto que valores fora da gama referida podem interferir de forma negativa no processo. Valores reduzidos de humidade podem reduzir a actividade microbiológica assim como a velocidade de biodegradação. Por outro lado, valores elevados de humidade na pilha conduzem à saturação dos poros, impedindo a circulação de oxigénio e criando locais de anaerobiose.

4.3.6 Granulometria

A granulometria dos materiais envolventes interfere na velocidade de degradação da matéria orgânica. Desta forma, se as partículas possuírem um tamanho reduzido, a sua área de contacto com os microrganismos será elevada em função da sua área específica. Assim verifica-se uma velocidade de degradação da matéria orgânica mais elevada.

O tamanho do material deve estar compreendido numa gama de 2 a 7 cm (Pereira, UA).

Uma granulometria adequada permite uma difusão de ar e água eficientes e uma mistura adequada, promovendo os processos microbiológicos. Se a granulometria for muito reduzida, característica de espaços intrínsecos reduzidos, existe o risco de compactação dos materiais e a diminuição dos espaços intersticiais.

Devido ao facto de as lamas de depuração apresentarem uma granulometria excessivamente reduzida, há a necessidade de lhe adicionar determinados componentes para aumentar a sua porosidade e reduzir os problemas relativos ao arejamento.

4.4 Sistemas de Compostagem

A matéria orgânica degrada-se naturalmente na presença de oxigénio devido à actividade dos microrganismos envolventes, sem necessitar da aplicação de tecnologia.

Quando ocorre a necessidade de controlo do processo, com o intuito de se obter um composto final com melhores qualidades, a compostagem é efectuada recorrendo ao uso de diversos equipamentos.

Desta forma, os sistemas de compostagem dividem-se em dois grupos, sistemas que efectuam a compostagem em reaktor fechado e sistemas que não recorrem ao uso de reaktor, denominados “sistemas em aberto”.

Nos sistemas em aberto, as pilhas estáticas diferem entre si na largura e altura das pilhas e pelas diversas formas de arejamento praticadas.

De entre os sistemas reaktor, muitas vezes denominados “sistemas fechados”, “sistemas mecânicos” ou “sistemas de navio”, salienta-se o processo de fluxo vertical e o processo de fluxo horizontal e inclinado.

4.4.1 Sistemas em aberto

Os sistemas em aberto são, como anteriormente referido, sistemas onde se processa a compostagem sem que seja efectuado o recurso a algum reaktor. Assim, as pilhas de material a compostar podem ser reviradas em determinados períodos, podem permanecer estáticas sem aplicação de qualquer tipo de mecanismos, ou podem ainda ser arejadas com auxílio de difusores de ar.

4.4.1.1 Pilhas Estáticas

O material a compostar é previamente misturado com um agente estruturante e depositado sob uma base de forma a formar uma pilha ampla.

temperatura e libertação de calor e vapor de água - Figura 10. Assim, o tempo necessário ao processo de compostagem é também mais reduzido, entre 21 a 28 dias.

Normalmente as leiras são viradas no mínimo cinco vezes enquanto é mantida uma temperatura igual ou superior a 55°C. (Metcalf&Eddy, 2003).

A altura da leira deve ser tal que permita gerar calor suficiente e possibilite o fluxo de oxigénio até ao núcleo da pilha.

A viragem das leiras deve ser efectuada das extremidades para o centro, onde as temperaturas são mais elevadas, permitindo assim uma remoção eficiente de organismos patogénicos e uma decomposição uniforme da matéria orgânica.

Existem dois tipos de sistemas de leira que diferem entre si pelo meio utilizado para suprimir as necessidades de oxigénio para a actividade dos microrganismos.

Nas leiras “simples”, as necessidades de oxigénio são suprimidas por ventilação natural, através da fluabilidade dos gases quentes presentes na leira, e em menor proporção pelas trocas gasosas que ocorrem aquando da viragem da pilha. No sistema de leira com arejamento forçado, estas necessidades são suprimidas por arejamento forçado ou induzido, recorrendo ao auxílio de insufladores de ar e também pelas trocas gasosas que ocorrem com a viragem da pilha de resíduo.

Em ambos os sistemas as pilhas são reviradas periodicamente, observando-se uma mistura considerável ao longo da altura e largura da leira e reduzida ao longo do comprimento.

Este sistema de compostagem é hoje em dia muito utilizado devido à sua flexibilidade e adaptação a diversos tipos de resíduos. Existe no mercado uma diversidade de equipamentos especializados na viragem das leiras com custos de investimento e mão-de-obra reduzidos.

4.4.2 Sistemas em Reactor

Os sistemas em reactor são desenvolvidos com o intuito de promover a compostagem de resíduos de forma controlada e utilizando uma área reduzida do terreno disponível. Dentro do reactor são desenvolvidas as condições óptimas de temperatura, mistura e arejamento, promovendo assim o controlo do processo, obtendo-se um composto de elevada qualidade sem custos significativos de mão-de-obra e um maior controlo de odores.

Nestes sistemas a mistura do resíduo é efectuada de forma automática e mecanizada e há a possibilidade de arejamento forçado.

Apesar da grande vantagem de o processo ser acelerado e o tempo necessário à compostagem diminuído, este tipo de compostagem é geralmente mais dispendioso que os outros já referidos, os reactores são dispendiosos, exigindo assistência técnica especializada e acarretando investimentos financeiros significativos.

Os sistemas em reactor podem ser implementados em reactores de fluxo horizontal, reactores de fluxo vertical e reactores de leito agitado.

4.4.2.1 Reactores de fluxo vertical

Neste sistema, o material a compostar juntamente com o agente estruturante, são introduzidos no topo do reactor. Ao longo do percurso descendente vai sendo agitado e após o processo, o composto é removido pela base do reactor.

A alimentação pode ser efectuada de forma contínua ou intermitente.

São conhecidas diversas versões deste reactor, diferindo na geometria (circular e rectangular) e no arejamento, que pode ser efectuado no mesmo sentido que é feita a alimentação do resíduo a compostar ou então em contra corrente. O fluxo de ar de saída pode ser recolhido e encaminhado para um sistema de tratamento de odores.

Apesar dos custos associados ao equipamento envolvente, este sistema permite que o processo se realize de forma acelerada, necessitando no entanto de um período de maturação elevado.

4.4.2.2 Reactores de fluxo horizontal

Nos reactores de fluxo horizontal, princípio de funcionamento é o mesmo que os reactores de fluxo vertical, “o primeiro a entrar é o primeiro a sair”, sendo o reactor alimentado numa das extremidades e o composto removido na outra extremidade.

Estes reactores dividem-se em três tipos: os que são constituídos por um tambor rotativo dotado de alguma inclinação e que ao rodar transportam o material por gravidade; os que são caracterizados por uma geometria em forma de silo e que utilizam algum mecanismo de agitação; e os que são igualmente caracterizados por uma geometria em forma de silo, mas constituídos por um leito estático de sólidos a compostar.

Os reactores dotados de mecanismos de agitação, são também constituídos por sistemas de arejamento forçado o que permite uma flexibilidade operacional considerável.

Visto que este tipo de reactor é aberto no topo, estão normalmente instalados dentro de um edificação, a fim de prevenir contratempos relacionados com as condições climáticas e controlar outras perturbações como odores e ruídos.

Por último, os reactores de leito fixo são reactores tubulares ou túneis de secção transversal rectangular. Uma das vertentes do reactor caracteriza-se pelo recurso a um empurrador da placa com movimentos para a frente e para traz, situados na extremidade da alimentação do túnel. Com estes movimentos é admitido novo material a compostar e o restante é empurrado para a outra extremidade do reactor, extremidade de saída. O arejamento é efectuado pela introdução de ar e remoção de gases do reactor. Uma outra versão existente deste tipo de reactor é caracterizada por um pavimento deslizante que movimenta os sólidos no reactor.

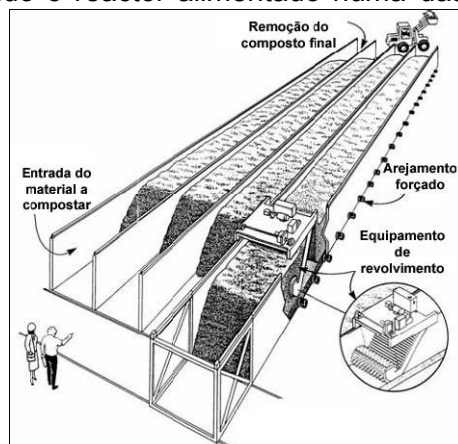


Figura 11 - Sistema em canal, adaptado de Ministry of agriculture, 1996B

4.4.3 Comparação dos sistemas de compostagem

4.4.3.1 Pilhas estáticas

Vantagens

- Podem ser maiores que as pilhas revolvidas;
- Controlo de odores facilitado;
- Diminuição do tempo de compostagem com o arejamento forçado;
- Menor investimento e espaço utilizado devido ao facto de não ser necessário equipamento de viragem das pilhas;
- Menor custo de capital devido ao reduzido equipamento utilizado no processo;
- As elevadas temperaturas verificadas aumentam a eliminação dos organismos patogénicos;
- É possível controlar as variações de temperatura devido à presença de ventiladores;
- Obtenção de um composto final de boa qualidade.

Desvantagens

- Necessidades de investimento nos sistemas de arejamento forçado e ventilação;
- Dificuldades na instalação e resolução de problemas inerentes ao entupimento dos orifícios dos tubos perfurados;
- O arejamento forçado tem de ser controlado para impedir a secagem da pilha, dificultando a estabilização do composto;
- Necessidades de uma mistura correcta e uniforme em toda a pilha para aumentar a qualidade do composto e impedir uma compostagem desigual ao longo da pilha;
- Em climas quentes é necessário sujeitar as pilhas a um coberto para impedir excessivas perdas de água por evaporação;
- Necessidade de controlo de temperaturas, assegurando que não há variação da mesma entre o núcleo e as extremidades da pilha;
- O tempo necessário à compostagem é significativo quando comparado com os sistemas de compostagem em reactores.

4.4.3.2 Pilhas revolvidas

Vantagens

- Reduzido investimento inicial;
- Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos;
- Simplicidade de operação;
- Os sucessivos revolvimentos permitem um aumento do arejamento do composto, uma temperatura e mistura uniformes ao longo das pilhas, uma rápida diminuição da humidade e uma aceleração significativa do processo;
- Aumento da qualidade do produto final;
- Capacidade de compostar elevadas quantidades de material devido à extensão das leiras.

Desvantagens

- Custos de investimento e manutenção de equipamentos acrescido;
- Tempo de compostagem elevado quando comparado com o necessário para os sistemas de compostagem em reactores;
- Consumos de energia consideráveis devido ao funcionamento dos equipamentos de viragem;
- Necessidades de mão-de-obra consideráveis;
- Monitorização do equipamento de arejamento para garantir o aumento da temperatura;
- Necessidade de uma maior área devido ao tamanho das leiras e ao espaço necessário entre elas;
- Dificuldades em controlar a emissão de odores, principalmente aquando do revolvimento das leiras;
- Necessidades de proteger o sistema das condições atmosféricas, nomeadamente precipitação e temperaturas baixas, recorrendo à cobertura / edificação do sistema.

4.4.3.3 Sistemas em reactor

Vantagens

- Aceleração do processo de compostagem;
- Melhor controlo do processo de compostagem;

- Necessidades de um menor espaço quando comparado com outros sistemas de compostagem;
- Libertação de maus odores diminuída;
- Necessidade de menor mão-de-obra devido ao automatismo do processo;
- Inexistência de influência das condições atmosféricas no processo;
- Produto final de boa qualidade.

Desvantagens

- Custos elevados de investimento, operação e manutenção dos equipamentos;
- Dependência dos sistemas mecânicos;
- Menor flexibilidade operacional para compostar volumes variáveis de resíduos;
- Pouca flexibilidade quanto à localização do reactor;
- Em caso de avarias nos equipamentos, o atraso do processo pode ser elevado;
- A estabilização do composto pode não ser a mais eficiente devido ao tempo reduzido a que este esteve sujeito ao processo de compostagem.

4.4.4 Síntese das características dos sistemas de compostagem

Tabela 3 - Síntese das principais características dos diversos sistemas de compostagem; adaptado de Tchobanoglous e outros. 1993 e Ministry of agriculture

	Pilhas estáticas	Pilhas estáticas arejadas	Pilhas revolvidas	Sistemas em reactor
Geral	Reduzida utilização de tecnologia. Problemas de qualidade	Indicado para usos municipais ou explorações agrícolas.	Utilização de tecnologia de viragem de pilhas	Sistemas de grande escala. Aplicações comerciais
Investimento	Reduzido	Reduzido	Elevado	Muito Elevado
Área necessária	Elevada	Elevada	Elevada	Bastante limitada
Agente estruturante	Pouco flexível. Deve ser poroso	Pouco flexível. Deve ser poroso	Flexível	Flexível
Degradação activa	6– 24 meses	21-40 dias	21-40 dias	21-35 dias
Maturação / Cura	Não é aplicável	>30 dias	>30 dias	>30 dias
Dimensões				
Altura	1-4 m	3-4,5 m	1-2,8 m	Variável
Largura	3-7m	Variável	3-6 m	Variável
Comprimento	Variável	Variável	Variável	Variável
Sensibilidade a tempo húmido	Interferência se não sujeito a coberto	Interferência se não sujeito a coberto	Interferência se não sujeito a coberto	Não há interferência
Qualidade do composto	Reduzida	Média	Média	Elevada
Emissão de Odores	Aumenta com a largura da pilha	Controlado por isolamento da pilha ou filtração do ar	Com as viragens das pilhas nas primeiras semanas.	Controlo elevado.

4.5 Agente Estruturante (Bulking Agent)

Uma das principais características associadas às lamas digeridas a compostar é a sua reduzida porosidade, associada a uma elevada compactação.

Desta forma, o arejamento e difusão do oxigénio para os microrganismos podem não suceder de forma eficiente. Assim, conclui-se que as lamas só por si não são capazes de compostar. Assim, antes de colocar a lama a compostar, existe a necessidade de se lhe adicionar um material estruturante.

O material estruturante pode ser visto como uma matriz tridimensional de partículas sólidas, com capacidade de fornecer suporte estrutural. O volume de vazio e o tamanho dos poros são determinados pela forma e tamanho do agente utilizado. A substância húmida, neste caso a lama digerida, irá preencher parte dos vazios formados pelo agente estruturante.

De entre as funções deste material estruturante distinguem-se:

- Fornecer suporte estrutural ao substrato húmido (lama);
- Proporcionar espaço de ar livre entre as partículas;
- Aumentar o tamanho dos poros existentes;
- Facilitar o movimento de ar ao longo da mistura.

É importante que o agente estruturante seja adicionado nas quantidades requeridas. Caso a quantidade adicionada não seja suficiente, o agente não terá qualquer utilidade na mistura. Por outro lado, se for adicionado em excesso (considerando que é um material degradável) este irá aumentar a quantidade de material a ser diariamente manuseado, a quantidade de agente que é também degradado e ainda a área de solo requerida para a compostagem (Haug, 1993).

São utilizados vários materiais como agente estruturante no processo de compostagem, entre os quais aparas de madeira, palha, pneus picados, casca de arroz, cascas de amendoim, entre outros. Grande parte destes materiais são compostos celulósicos e são degradados em certa proporção durante o processo de compostagem. A degradação destes materiais origina uma diminuição do tamanho das partículas, o que permitirá que uma fracção adicional fique retida no processo de triagem final do composto (Haug, 1993). Com isto, é necessária uma adição contínua destes componentes para balancear a quantidade de agente que é degradada, com aquela que constituirá o composto final. Alguns agentes estruturantes são resistentes à decomposição, como materiais plásticos e pneus picados, e por isso não sofrem qualquer tipo de alteração significativa durante o processo de compostagem.

Sabendo que os agentes estruturantes são indispensáveis ao processo de compostagem, é necessário proceder à escolha de um agente adequado. É necessário ter em atenção alguns factores, como a disponibilidade do resíduo ao longo do tempo, visto que estes podem estar disponíveis apenas ocasionalmente e o processo de compostagem necessita destes agentes permanentemente; balancear os custos associados pois normalmente existe no mínimo um custo associado ao transporte, que pode ser significativo devido ao baixo peso específico dos agentes; necessidades de pré processamento, como a trituração, o que pode acarretar o acréscimo dos custos associados; influência do agente nas características do composto final, que podem melhorar ou agravar.

4.6 Necessidades de Arejamento

O sistema de compostagem necessita de um arejamento eficiente para fornecer o oxigénio necessário para a respiração dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica (reacção estequiométrica). Para além disto, o arejamento é também necessário para remoção do vapor de água e consequente secagem da pilha.

As necessidades de arejamento do sistema para remoção de calor e humidade são significativamente maiores do que as necessidades inerentes ao fornecimento de oxigénio aos microrganismos (Haug, 1993).

4.6.1 Determinação da necessidade estequiométrica de ar

O fornecimento de oxigénio ao material a compostar é essencial à sobrevivência e actividade dos microrganismos envolventes no processo.

O cálculo das necessidades estequiométricas de ar efectua-se com base na equação da degradação da matéria orgânica:



Após se proceder ao acerto da equação e determinação dos coeficientes estequiométricos (a, b, c, d, e) é possível determinar X_i , massa de O_2 a fornecer pela massa de bvs contida em cada material.

As necessidades de ar para a nitrificação são significativamente inferiores às necessidades para a oxidação orgânica. A grande maioria da amónia formada não é oxidada, sendo parte utilizada directamente na síntese celular e a restante perdida por volatilização. Com isto, não será considerado neste trabalho o cálculo destas necessidades (Haug, 1993).

Salienta-se que o calor gerado é resultado da oxidação microbiológica da fracção biodegradável da matéria orgânica presente na pilha, bvs . O cálculo desta fracção biodegradável pode ser efectuado pela equação 2 apresentada por Haug, 1993.

$$bvs = 0,830 - (0,028 * X) \quad \text{[Equação 2]}$$

sendo X o conteúdo em lenhina, % dos sólidos voláteis.

A grande dificuldade inerente ao cálculo das necessidades de arejamento deve-se ao facto de que ao longo do processo, nem toda a matéria orgânica é degradada.

4.6.2 Determinação da necessidade de ar para remoção de água e de calor

O excesso de humidade na pilha, tal como anteriormente referido, pode originar a obstrução dos poros e o consequente impedimento da difusão de ar e oxigénio pelo material. Assim, é necessário controlar este parâmetro e fornecer a quantidade de ar necessário à eliminação da humidade em excesso.

Também as temperaturas elevadas podem inibir a actividade dos microrganismos e desta forma inviabilizar o processo de compostagem. Desta forma é necessário remover parte do calor gerado durante a actividade microbiológica, a fim de evitar temperaturas excessivas e inibidoras do processo. O calor libertado é função da massa de oxigénio fornecida à mistura (3260 kcal/kg O₂) (Haug, 1993).

4.6.3 Cálculo das necessidades totais de ar

Para a determinação das necessidades totais de ar utiliza-se a equação 3:

$$Y = \frac{qmm}{\left(\frac{q_v}{m_{as}} + \frac{q_{va}}{m_{as}} + \frac{q_a}{m_{as}}\right)} \quad \text{[Equação 3]}$$

sendo que:

Y: Massa de ar por massa de mistura, em kg/kg.

qmm: Calor libertado por massa de mistura, em kcal/kg.

q_v: Calor necessário para vaporizar a água, em kcal.

q_{va}: Calor necessário para aquecer o vapor de água até à temperatura de saída, em kcal.

q_a: Calor necessário para aquecer o ar até à temperatura de saída, em kcal.

m_{as}: Massa de ar seco, em kg.

O cálculo de Y implica alguns cálculos intermédios, apresentados nas equações de 4 a 7.

4.6.4 Cálculo do calor libertado por massa de mistura (kcal/kg)

$$q_{mm} = \sum (X_i * 3260 * t_s * v_s * b_{vs}) \quad \text{[Equação 4]}$$

sendo:

X_i : a massa de O_2 a fornecer pela massa de b_{vs} contida em cada material;

t_s : a fracção sólida da mistura;

v_s : a fracção volátil dos sólidos secos.

4.6.5 Cálculo do calor necessário para vaporizar a água (kcal)

$$q_v = m_{as} * (w_s - w_e) * h_v \quad \text{[Equação 5]}$$

sendo:

h_v : a entalpia de vaporização da água, igual a 585,8 kcal/kg;

w_s : a humidade específica do ar de saída, em kg água/kg ar seco;

w_e : a humidade específica do ar introduzido kg água/kg ar seco.

4.6.6 Cálculo do calor necessário para aquecer o vapor de água até à T_s (kcal)

$$q_{va} = m_{as} * w_s * h_{va} * (T_s - T_e) \quad \text{[Equação 6]}$$

sendo:

h_{va} : o calor específico do vapor de igual a 0,44 kcal/kg °C;

T_s : a temperatura de saída, em °C;

T_e : a temperatura de entrada, em °C.

4.6.7 Cálculo do calor necessário para aquecer o ar até à T_s (kcal)

$$q_a = m_{as} * h_a * (T_s - T_e) \quad \text{[Equação 7]}$$

sendo:

h_a : o calor específico do ar, igual a 0,24 kcal/kg°C.

As fórmulas apresentadas exigem o cálculo prévio da humidade específica de entrada e de saída:

4.6.8 Cálculo da Pressão de saturação do vapor de água à temperatura T

$$\log_{10} P_{sat} = \frac{a}{T} + b \quad \text{[Equação 8]}$$

sendo a igual a -2238 (constante), b igual a 8,896 (constante), T igual à temperatura absoluta (°K) e P_{sat} igual à pressão de saturação (mmHg).

4.6.9 Cálculo da Pressão de Vapor (mmHg) à temperatura T

$$P_v = \Phi * P_{sat} \quad \text{[Equação 9]}$$

sendo Φ igual à humidade relativa (adimensional)

4.6.10 Cálculo da humidade específica, w (kg água/kg ar seco)

$$w = \frac{18,015}{28,96} * \frac{P_v}{P_{atm} - P_v} \quad \text{[Equação 10]}$$

sendo a P_{atm} (pressão atmosférica) representada em mmHg.

4.7 Odores

Um dos problemas mais delicados inerente ao processo de compostagem é o controlo de odores. A gestão de odores deve ser implementada com eficiência, sendo que a produção de odores ofensivos constitui uma realidade inevitável inerente aos processos de compostagem. Salienta-se no entanto que estes sistemas de eliminação de odores, com excepção da oxidação térmica, não constituem uma solução 100% eficaz, apaziguam os odores mas não os eliminam na totalidade (Haug, 1993).

Os odores são emitidos a partir das superfícies dos sistemas de compostagem e sistemas de cura abertos, assim como dos sistemas de exaustão de gases do arejamento controlado.

A libertação de odores pode ser intensificada quando o arejamento da pilha não é eficiente, quer devido aos elevados teores de humidade, quer devido às reduzidas taxas de porosidade do material. Desta forma não ocorre uma difusão de ar eficiente pelo material, prejudicando o metabolismo aeróbio. São então desenvolvidas condições anaeróbias na pilha, cujo metabolismo dá origem à formação de determinados compostos responsáveis pelos maus odores sentidos nas imediações do sistema.

De entre os compostos odoríferos ofensivos destaca-se o amoníaco, resultante da decomposição de compostos orgânicos azotados e de uma razão C/N reduzida, os ácidos voláteis, resultantes da hidrólise de ácidos gordos e ainda compostos contendo enxofre que libertam gás sulfídrico.

Conhecem-se já várias técnicas redução de odores nos gases dos processos de compostagem, no entanto tem-se dado mais atenção à lavagem química por via húmida e oxidação biológica utilizando biofiltros (Haug, 1993).

Considerando que nenhum sistema de desodorização elimina na totalidade as emissões de odores (mesmo os gases tratados contêm uma pequena porção de odores), a diluição atmosférica não deverá constituir a única solução, mas deverá ser parte da solução implementada (Haug, 1993). Na diluição atmosférica, os odores são transportados pelo vento e diluídos pela turbulência atmosférica. Devido ao aquecimento do solo, a dispersão atmosférica é limitada e os odores são sentidos de uma forma mais intensiva ao entardecer e durante a noite.

Os biofiltros, sistemas de remoção de odores em gases contaminados, são práticas muito frequentes na Europa e ultimamente também nos Estados Unidos. Estes devem ser operados mantendo as condições adequadas de pH, nutrientes, mistura e temperatura para promover a actividade dos microrganismos, tornando o processo mais eficiente.

De referir que apesar de não ser possível evitar a libertação de odores nos sistemas de compostagem, manter uma boa manutenção do processo, com arejamento adequado e ajuste dos parâmetros já referidos, contribui para um bom metabolismo aeróbio, prevenindo a formação de determinados compostos originários de maus odores.

4.8 Estabilização do Composto

Após a etapa de compostagem propriamente dita, o composto necessita de uma fase de maturação / estabilização, finda a qual este se encontra estável, isento de organismos patogénicos ou outros contaminantes, com emissão de odores muito reduzida devido à reduzida degradabilidade dos materiais húmicos que agora o constituem e com as características adequadas que lhe permitem ser aplicado no solo como fertilizante.

Estudos comprovam que um composto “imaturo” contém metabolitos que inibem o crescimento das plantas. De entre os factores que podem afectar de forma negativa o solo onde é aplicado o composto e inibir o crescimento das plantas destaca-se razões elevadas ou reduzidas de C/N, produtos da degradação, como ácidos orgânicos, entre outros.

A questão que surge muitas vezes é em que medida o composto necessita de mais ou menos estabilização? Quando é que esta está completamente acabada? Na verdade não existe uma resposta concreta a estas questões, no entanto existem uma série de parâmetros que são avaliados e permitem concluir acerca da estabilização do composto. De entre estes parâmetros destacam-se:

- Declínio da temperatura no fim do processo de compostagem ou cura até atingir valores aproximados da temperatura ambiente;
- Aumento do teor em oxigénio;
- Razão C/N reduz-se substancialmente (valores próximos de 10 de acordo com Martinho e Gonçalves, 2000);
- Redução da humidade;
- Efeito na germinação e crescimento de plantas;
- Presença de determinados componentes, como nitrato e ausência de outros como amónia, sulfatos e ácidos orgânicos;
- Isenção da atracção de insectos e a ausência de desenvolvimento de larvas de insecto;
- Alterações nos odores emitidos, menos ofensivos que os odores emitidos durante a compostagem;
- Aumento do potencial redox;
- Experiência do operador.

4.9 Qualidade Final do Composto

O controlo da qualidade do produto final inicia-se aquando da selecção das matérias-primas a compostar e prolonga-se durante o controlo do processo de compostagem, incluindo a fase de triagem final. É de facto de elevada importância efectuar um controlo eficiente de todas as etapas do processo, mantendo determinados parâmetros nos intervalos aconselhados, promovendo as condições óptimas para a degradação da matéria orgânica e eliminação de quaisquer contaminantes capazes de prejudicar a qualidade do referido composto.

Esta qualidade final do composto dependente também das características das matérias-primas a compostar e está normalmente associada à presença de contaminantes no composto, à sua cor e granulometria, à presença de nutrientes dentro das concentrações permitidas, entre outros.

As exigências da qualidade do composto formado encontram-se relacionadas com a sua aplicação final. Contudo é necessário assegurar uma boa qualidade a fim de aumentar a credibilidade do composto no mercado e assim assegurar potenciais compradores.

Apesar de a nível nacional não existir nenhuma legislação que estabeleça os parâmetros mínimos de qualidade do composto obtido, Portugal, tal como grande parte dos restantes membros da União Europeia, adoptaram legislações nacionais baseadas no “*Biological treatment of biowaste – second draft*” – documento da Comissão Europeia, datado de 12 de Fevereiro de 2001. Assim surgiu a “Proposta de norma técnica sobre qualidade e utilizações do composto”.

Tabela 4 - Classes de compostos e de resíduos orgânicos estabilizados de acordo com o “Biological treatment of biowaste – second draft” 2001 *

Composto		Classes		Resíduo Orgânico estabilizado **
Parâmetro	Unidades	I	II	
Cádmio	mg/kg ms	0,7	1,5	5,0
Chumbo	mg/kg ms	100	150	500
Cobre	mg/kg ms	100	150	600
Crómio	mg/kg ms	100	150	600
Mercúrio	mg/kg ms	0,5	1,0	5,0
Níquel	mg/kg ms	50	75	150
Zinco	mg/kg ms	200	400	1500
Materiais inertes antropogénicos	%	0,5	0,5	3,0
> 2mm				
Pedras > 5 mm	%	5,0	5,0	-
Salmonella spp. Ausente em	g	50	50	25
Escherichia coli	NMP/g	-	-	1000

* Valores normalizados para conteúdo em matéria orgânica igual a 30%

** Aplicado a resíduos soldos urbanos compostados de forma indiferenciada

Os valores estabelecidos pela *Proposta de Norma Técnica Portuguesa (2005)* encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores estabelecidos pela Proposta de Norma Técnica Portuguesa – 2005***

Composto		Classes		
Parâmetro	Unidades	I	II	III
Cádmio	mg/kg ms	0,7	1,5	5,0
Chumbo	mg/kg ms	100	150	500
Cobre	mg/kg ms	100	200	600
Crómio	mg/kg ms	100	150	600
Mercúrio	mg/kg ms	0,7	1,5	5,0
Níquel	mg/kg ms	50	100	200
Zinco	mg/kg ms	200	500	1500
Materiais inertes antropogénicos	%	0,5	1,0	3,0
Pedras > 5 mm	%	5,0	5,0	-
Salmonella spp. Ausente em	g	25	25	25
Escherichia coli	NMP/g	1000	1000	1000

*** Valores normalizados para conteúdo em matéria orgânica igual a 40% para RSU e 50% para lamas de ETAR

“De acordo com a proposta nacional, a utilização generalizada na agricultura restringe-se aos compostos das classes 1 e 2. A utilização do composto de classe 3, de características equiparadas ao “resíduo sólido estabilizado”, descrito no “*second draft*”, é limitada aos solos onde não se pretenda implantar culturas destinadas à alimentação humana ou animal, e a uma quantidade máxima de aplicação, em cada período de dez anos, de 200 toneladas por hectare, de peso fresco” (Inspeção-Geral do Ambiente e do Ordenamento do Território, Janeiro 2008).

4.10 Aplicação do Composto no Solo

A aplicação de fertilizantes no solo é muitas vezes indispensável pois as suas características nem sempre permitem o crescimento pretendido para as plantas.

O grande problema da contaminação de solos e águas superficiais deve-se muitas vezes à aplicação de fertilizantes químicos que se por um lado favorecem o rápido crescimento das plantas, por outro lado introduzem nos solos e nas próprias plantas componentes prejudiciais à

saúde pública e ambiente. Assim, há uma procura crescente de fertilizantes orgânicos, que apresentam características controladas, são isentos de contaminantes e possuem as características adequadas ao crescimento de diversas culturas.

O composto formado a partir da compostagem de lamas de ETAR é um composto inodoro e com um controlo de qualidade elevado. É uma prática já estabelecida no país e com um nível de aceitação elevada por parte dos compradores.

Este composto quando aplicado no solo, desenvolve as suas características físicas, químicas e biológicas, apresentando diversas vantagens:

- Melhora a estrutura e características de lavoura do solo;
- Aumenta a porosidade do solo, aumentando desta forma a capacidade de retenção de água e difusão de ar e oxigénio, favorecendo a actividade dos organismos aí presentes;
- Aumenta o teor em matéria orgânica favorecendo a diversidade biológica do solo e aumentando a concentração de nutrientes necessários ao crescimento das plantas;
- Aumenta a capacidade tampão do solo, permitindo que os nutrientes sejam libertados progressivamente, favorecendo a nutrição das plantas e evitando perdas por lixiviação;
- A sua coloração permite a absorção e conservação do calor importante para o crescimento dos ecossistemas que constituem o solo.

5. BOMBAGEM DE LAMAS

5.1 Determinação da Perda de Carga

Um dos parâmetros de maior importância é a perda de carga nas condutas. Este parâmetro depende da reologia das lamas, do diâmetro da conduta e da velocidade de escoamento (Metcalf & Eddy, 2000).

Estudos realizados comprovam que a perda de carga aumenta com o teor em sólidos na lama a bombear, com o teor em componentes voláteis e com temperaturas mais baixas (Metcalf & Eddy, 2000).

A perda de carga na bombagem de lamas activadas não concentradas pode ser entre 10 a 25% maior do que o que aconteceria com a bombagem de água (Metcalf & Eddy, 2003). As lamas primárias, digeridas e as lamas concentradas, quando sujeitas a bombagem a velocidades reduzidas podem exibir um comportamento de fluidos plásticos e exigir a aplicação de uma determinada pressão para vencer a resistência e iniciar o escoamento. Em escoamentos turbulentos, a perda de carga da bombagem de lamas bem digeridas, pode ser 2 a 3 vezes superior à perda de carga verificada na bombagem de água, sendo a perda de carga das lamas primárias e concentradas significativamente superior (Metcalf & Eddy, 2003).

As lamas resultantes do tratamento de águas residuais apresentam comportamento de Fluidos não Newtonianos, não sendo a queda de pressão proporcional ao escoamento (em escoamento laminar), e por isso a viscosidade não é constante.

Considerando que as lamas se comportam como Fluidos plásticos de Bingham, estas apresentam uma relação linear entre a tensão de corte e o escoamento.

Para se efectuar o cálculo da perda de carga é necessário recorrer a três fórmulas de cálculo e usar como fonte de auxílio curvas empíricas para determinar o valor de algumas constantes [elasticidade (s_y) e coeficiente de resistência (η)]. As curvas utilizadas nos cálculos deste trabalho, encontram-se em Metcalf & Eddy, 2003.

Para se calcular a queda de pressão é necessário determinar o factor de fricção, f , calculando-se previamente dois números adimensionais, número de Reynolds e número de Hedstrom. Após determinar estes dois valores, é possível consultar as curvas apropriadas e determinar f .

5.1.1 Determinação do número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\eta} \quad [\text{Equação 11}]$$

sendo:

Re : número de Reynolds, adimensional;

ρ : massa específica da lama (kg/m^3);

V : velocidade média (m/s);

D : diâmetro da conduta (m);

η : coeficiente de rigidez (kg/m.s).

5.1.2 Determinação do número de Hedstrom

$$He = \frac{D^2 s_y \rho}{\eta^2} \quad [\text{Equação 12}]$$

sendo:

He : número de Hedstrom, adimensional;

s_y : elasticidade (N/m^2).

5.1.3 Determinação da queda de pressão

$$\Delta p = \frac{2 f \rho L V^2}{D} \quad [\text{Equação 13}]$$

sendo:

Δp : queda de pressão (N/m^2);

f : factor de fricção;

L : comprimento da conduta (m).

5.2 Condutas

O sistema de bombagem de lamas, é um sistema sob pressão, onde é necessário efectuar um dimensionamento e instalação correctos, a fim de se evitar fugas ou infiltrações. Nestas condutas as tubagens são seladas, não existindo câmaras de visita.

Uma das vantagens deste sistema é a possibilidade de redução de custos por diminuição no diâmetro das condutas.

De entre outros aspectos a ter em atenção, é de elevada importância evitar interrupções na bombagem, deixando a tubagem com lama. Se tal acontecer, acresce o risco de deposição de sólidos e dificuldades no escoamento inerentes a possíveis entupimentos. Outro factor importante é a acumulação de gorduras nas paredes nas tubagens, que podem originar problemas no escoamento. No entanto, os problemas devidos à acumulação de gorduras são mais invulgares na bombagem de lamas diluídas.

Em alguns casos, a acumulação de gorduras pode ser eliminada pela bombagem de água quente, vapor ou sobrenadante digerido pelas linhas de lamas (Metcalf & Eddy, 2000).

Para efectuar a bombagem de lamas, as tubagens utilizadas devem ter um diâmetro superior a 150mm. A menos que se pretendam velocidades superiores a 1,5 a 1,8 m/s, o diâmetro deverá ser inferior a 200mm (Metcalf & Eddy, 2000).

Na concepção de linhas de lamas com comprimento considerável são necessárias determinadas características, como:

- Instalação de duas condutas em vez de uma só, podendo alternar o escoamento pelas duas vias, evitando que paragens na bombagem originem problemas de deposição de sólidos, entre outros;
- Prever corrosões externas e cargas nas condutas;
- Prever e possibilitar a bombagem de água pelas condutas para as libertar das lamas;
- Prever e possibilitar a necessidade de injeção de vapor;
- Prever a instalação de válvulas de libertação de gás nos pontos altos das condutas, e válvulas de injeção em pontos baixos, entre outros.

Para efectuar a bombagem das lamas com um caudal de alimentação constante, evitando desta forma maiores gastos de energia, dificuldades no escoamento, perdas de carga, entre outros, é por vezes necessário proceder à moagem, mistura e armazenamento das lamas a bombear.

5.3 Choque Hidráulico

5.3.1 Descrição do fenómeno

Um circuito hidráulico correspondente quer a uma conduta elevatória, quer a uma conduta gravítica está sujeito à ocorrência de regimes transitórios durante os quais ocorre uma variação da pressão e velocidade do fluido numa dada secção.

As situações que originam a ocorrência de choque hidráulico são a paragem súbita dos grupos electrobomba em condutas elevatórias (por paragem instantânea da energia eléctrica ou necessidades de interrupção da bombagem) e as manobras instantâneas de válvulas para os

escoamentos por gravidade. No trabalho efectuado, deu-se especial atenção às condutas elevatórias.

Numa estação elevatória, a entrada em funcionamento, ou paragem do grupo electrobomba (GEB) são efectuadas de forma a acautelar alterações bruscas no escoamento. Desta forma, quando o GEB entra em funcionamento, a válvula de seccionamento a jusante permanece fechada até que a bomba atinja a velocidade de rotação nominal. Ao ser atingida esta velocidade, a válvula abre de forma gradual. O mesmo acontece quando se procede à paragem do GEB, a válvula de seccionamento fecha lentamente e só depois é que o GEB pára.

Caso a paragem ou a entrada em funcionamento do GEB não sejam efectuadas de forma acautelada e este pare ou entre em funcionamento repentinamente as condutas poderão sofrer danos graves.

Após uma paragem repentina da bomba, a sua velocidade de rotação diminui consideravelmente. Como o caudal e a altura de elevação da bomba diminuem rapidamente, origina-se o choque hidráulico, gerando-se ondas de pressão negativa que se propagam para o reservatório a jusante, e ondas de pressão positiva que se propagam para o reservatório a montante. A velocidade de propagação destas ondas é designada de *celeridade* (a) e é função das características mecânicas do fluido em escoamento e das características e dimensões do material da conduta. Quando a onda de pressão negativa atinge o reservatório a jusante, propaga-se uma nova onda de pressão positiva no sentido inverso, até atingir novamente o GEB. Este processo origina dilatações e contracções das tubagens e repete-se com menor amplitude até se atingirem as condições iniciais.

São estas pressões máximas e mínimas que devem ser tomadas em atenção aquando do dimensionamento das condutas.

A propagação destas ondas de pressão origina situações de aumento e diminuição de pressões ao longo das condutas, pondo em causa o bom funcionamento do circuito hidráulico e podendo originar rupturas nas condutas caso estas não suportem as pressões máximas ou mínimas verificadas.

Na propagação da onda de pressão negativa - primeira fase, são originadas depressões nas condutas, podendo gerar situações de cavitação ou ruptura na veia líquida, formando-se uma cavidade constituída por água e gases anteriormente dissolvidos na água. Como consequência, pode-se verificar a ruptura imediata da conduta, caso esta não resista às pressões negativas. A ruptura pode no entanto ocorrer mais tarde, aquando da reconstituição da veia líquida. A reconstituição da veia ocorre quando se verifica o aumento de pressões, ocorrendo a absorção instantânea dos gases.

Na segunda fase, propagação da onda de jusante para montante, verificando-se situações de sobrepressões nas condutas, podendo exceder o valor da pressão nominal do material da tubagem.

A celeridade pode ser determinada através da equação 14.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{\varepsilon}{\rho}}{1 + \frac{k}{E} \frac{D}{e}}} \quad [\text{Equação 14}]$$

sendo:

ε : Módulo da elasticidade do fluido (MPa)

ρ : massa específica da lama (kg/m^3)

E : Módulo da elasticidade da conduta (MPa)

D : Diâmetro interno da conduta (mm)

e : espessura da conduta

A fase (μ) corresponde ao tempo que cada onda de pressão demora a deslocar-se desde o GEB até ao reservatório de jusante e a regressar ao ponto inicial, determinando-se através da equação 15.

$$\mu = \frac{2L}{a} \quad [\text{Equação 15}]$$

sendo:

L : Comprimento total da conduta;

a : celeridade.

5.3.2 Dispositivos de protecção

Existem diversos dispositivos que funcionam de forma a proteger as condutas dos efeitos do choque hidráulico, diminuindo as oscilações de pressão e impedindo a ruptura das condutas.

5.3.2.1 Volantes de inércia acoplados às bombas

Os volantes de inércia são discos giratórios, instalados no GEB que têm como principal objectivo o aumento da inércia do grupo, fazendo aumentar o tempo de paragem da bomba e consequentemente aumentar o tempo de anulação do caudal a bombear. São geralmente usados para condutas de pequeno comprimento.

A principal desvantagem da sua instalação é a diminuição do rendimento do grupo, necessitando da instalação de um outro equipamento para aumentar as rotações da bomba.

5.3.2.2 Chaminés de equilíbrio

Estes dispositivos permitem que a oscilação de pressão nas condutas origine oscilações nas massas de água contidas no seu interior, alternando desta forma as sobrepressões/depressões.

A grande desvantagem associada a este dispositivo prende-se com as necessidades de grandes alturas, e por consequência elevados custos de investimento.

5.3.2.3 Reservatórios de Ar Comprimido

Reservatórios contendo água e ar sob pressão que oscilam dentro do mesmo à medida que a água entra ou sai, dependendo da fase em que se encontra a conduta.

É actualmente o dispositivo mais utilizado.

Tem como principal objectivo a estabilização da pressão de ar comprimido, evitando oscilações de pressão elevadas na conduta. As funções destes reservatórios são as mesmas que as das chaminés de equilíbrio.

5.3.2.4 Bombas reversíveis

São bombas que funcionam num sentido como bomba, e no sentido inverso como turbinas.

5.3.2.5 By – pass

O “By-pass” é formado por um conjunto de canalizações em circuito paralelo à bomba e que permitem que as ondas de pressão positiva se propaguem para além da bomba, podendo percorrer as condutas deste circuito, dissipando assim uma maior quantidade de energia.

Desta forma a conduta é protegida, quer da compressão (ondas de pressão negativa), quer da aspiração (ondas de pressão positiva).

5.3.2.6 Válvulas de segurança ou alívio

São válvulas que abrem quando a pressão atinge um determinado valor. Desta forma, protegem as condutas apenas das sobrepressões.

6. ESTUDO DE CASO

A ETAR de Sobreiras, tal como anteriormente referido, localiza-se numa zona muito sensível da cidade do Porto.

Apesar da qualidade da descarga final cumprir os requisitos legislativos, as cargas poluentes de CBO são superiores às previstas em projecto e a concentração em SST representa cerca de 75% do valor projectado para o ano 2040. Devido a este aumento imprevisto de carga poluente, verifica-se um aumento dos custos de exploração e também da produção de lamas, resultado do incremento dos processos de tratamento.

Com a elevada produção de lamas, quer primárias quer biológicas, acrescem as dificuldades e os custos inerentes ao armazenamento e tratamento para destino final. Acresce ainda a libertação de odores ofensivos que necessitam de tratamento, quer para se estabelecerem condições de trabalho aos operadores, quer para evitar queixas por parte da vizinhança.

Com isto, surge a necessidade de se encontrar uma nova solução para a gestão destas lamas, tendo como objectivos a diminuição dos custos de transporte e destino final das lamas e a diminuição do potencial de libertação de odores.

Devido às limitações físicas existentes, quer relativas à inexistência de área disponível, quer relacionadas com a localização da ETAR, não é possível qualquer tipo de intervenção no local. Assim, encontra-se em estudo a possibilidade de efectuar a bombagem das lamas produzidas em Sobreiras até à ETAR do Freixo. Na ETAR do Freixo as lamas provenientes de ambas as ETARS serão digeridas anaerobiamente, recuperando-se o biogás produzido, e de seguida valorizadas através de compostagem. Para que tal seja possível, estão previstas diversas alterações nas duas ETARS.

Na ETAR de Sobreiras todas as etapas de tratamento de lamas serão preservadas, incluindo a etapa de espessamento de lamas biológicas, caso contrário o volume de lamas para bombagem seria muito elevado e o investimento muito avultado. Contudo as bombas de elevação de lamas mistas serão substituídas tendo em conta a pressão necessária para as condutas elevatórias. Caso seja necessário a desidratação e o armazenamento de lamas nos silos existentes na ETAR, estas serão bombeadas para as centrífugas através destas mesmas bombas.

Pretende-se minimizar o tempo de retenção hidráulica no tanque de mistura de lamas, a fim de evitar a fermentação anaeróbia e a libertação de maus odores. Assim será vantajoso efectuar a bombagem de forma contínua, possibilitando a instalação de condutas de menores diâmetros e diminuindo o tempo de armazenamento de lamas mistas.

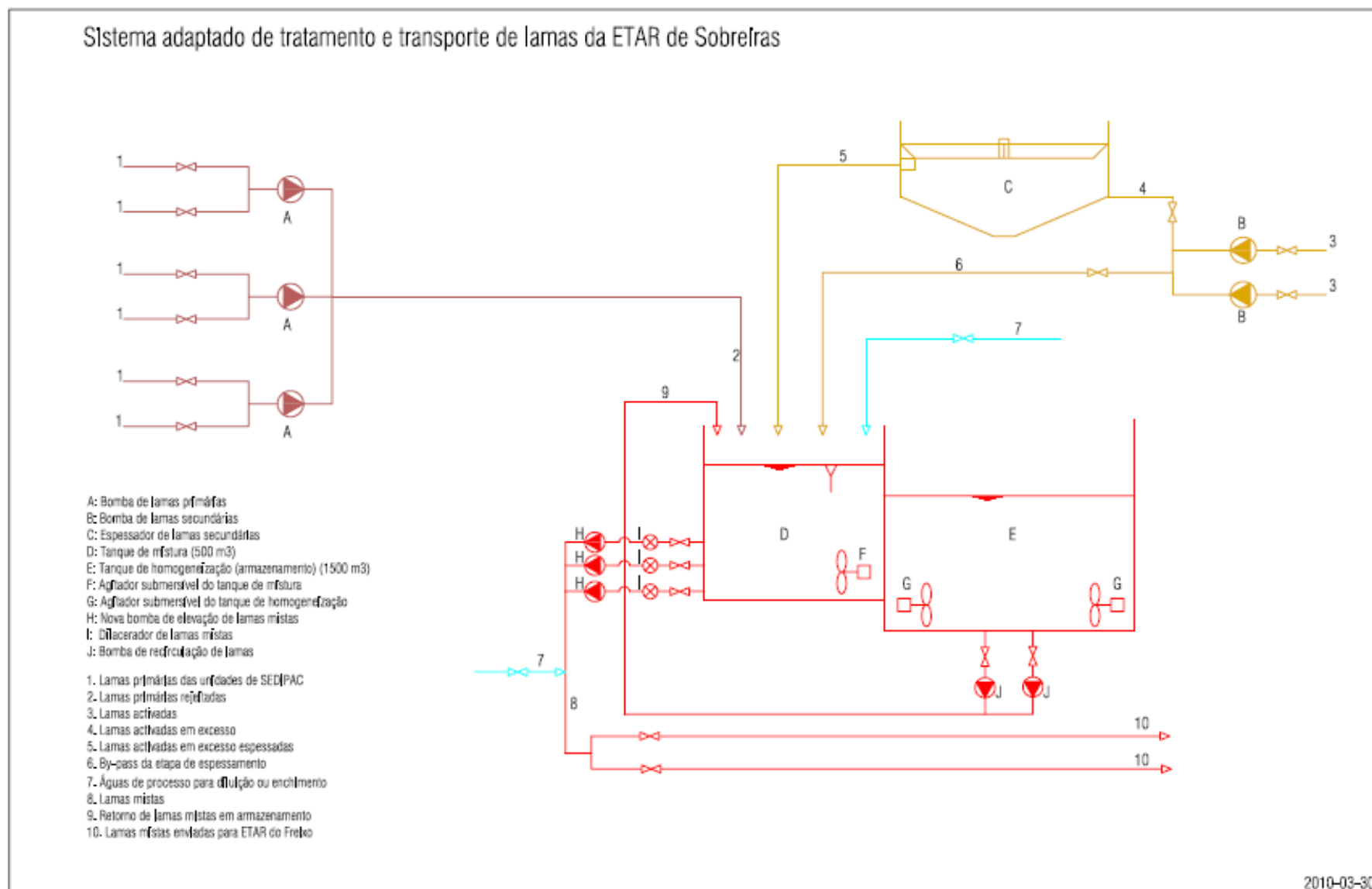


Figura 12 - Fluxograma de funcionamento do sistema adoptado de tratamento e rejeição de lamas da ETAR de Sobreiras

Tal como se pode observar pela Figura 12 as lamas serão bombeadas a partir do tanque de mistura de lamas que para garantir uma concentração de sólidos adequada, este deverá servir como tanque de equalização, utilizando-se apenas metade do seu volume.

Caso seja necessário proceder à diluição das lamas mistas, esta será efectuada com recurso ao efluente tratado. Antes da bombagem das lamas, existirá uma etapa de trituração, para melhorar as qualidades hidráulicas da lama e diminuir a perda de carga nas condutas.

As lamas produzidas na ETAR de Sobreiras, após a chegada ao Freixo serão sujeitas a um espessamento até um teor em sólidos de aproximadamente 3%. Após a etapa de espessamento, estas lamas serão misturadas com as lamas já espessadas geradas na ETAR do Freixo e daí encaminhadas para o digestor anaeróbio. Após a digestão, as lamas serão sujeitas a uma etapa de desidratação por centrifugação e de seguida sujeitas a compostagem.

O biogás obtido pela digestão das lamas provenientes das duas ETARs, após ser purificado (remoção de vapor de água e H_2S) será armazenado e aproveitado para geração de electricidade e água quente, ambas para utilização interna.

Desta forma, na ETAR do Freixo serão efectuadas as seguintes alterações:

- Instalação de uma etapa de espessamento para as lamas provenientes da ETAR de Sobreiras;
- Aumento da capacidade existente para purificação e armazenamento de biogás;
- Melhoria do sistema de desodorização existente;
- Aumento da capacidade existente de digestão anaeróbia de lamas;
- Recuperação e ampliação do sistema de cogeração existente;
- Construção de uma estação de compostagem de lamas;
- Instalação de uma nova etapa de desidratação para as lamas digeridas, incorporada na zona de compostagem.

7. METODOLOGIA

O estudo da bombagem de lamas e dos posteriores processos de tratamento e valorização visam uma análise e caracterização qualitativa e quantitativa das lamas produzidas nas duas ETARs.

Desta forma, foram realizadas no Laboratório de Engenharia Sanitária da FEUP diversas análises às lamas produzidas nas ETARs de Sobreiras e do Freixo.

7.1 Planos de Amostragem

Os planos de amostragem realizados são apresentados na Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 6 - Plano de amostragem – ETAR do Freixo

	Lamas primárias espassadas	Lamas secundárias em excesso	Lamas secundárias espassadas	Lamas mistas	Lamas digeridas
Sólidos Totais (ST)	✓	✓	✓	✓	✓
Sólidos Fixos (SF)	✓	✓	✓	✓	✓
Sólidos Voláteis (SV)	✓	✓	✓	✓	✓
Carência Química Oxigénio (CQO)	–	–	–	–	✓
Azoto total Kjeldhal (NTK)	–	–	–	–	✓

Tabela 7 - Plano de amostragem – ETAR de Sobreiras

	Lamas biológicas em excesso	Lamas biológicas flotadas	Lamas mistas	Lamas primárias
Sólidos Totais (ST)	✓	✓	✓	✓
Sólidos Fixos (SF)	✓	✓	✓	✓
Sólidos Voláteis (SV)	✓	✓	✓	✓
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	✓	–	–	–
Sólidos Suspensos Totais (SST)	✓	–	–	–
Carência Química Oxigénio (CQO)	–	–	✓	–
Azoto total Kjeldhal (NTK)	–	–	✓	–
Potencial de Produção de Gás	–	–	✓	–

7.2 Produção de Gás

Ao longo de toda a conduta será necessária a instalação de válvulas que possibilitem a extracção de gás formado pelo movimento das lamas.

A formação deste gás dá-se à medida que estas são transportadas ao longo das condutas, observando-se a sua formação ao longo do escoamento e ainda quando as lamas se encontram estagnadas – situação a evitar.

Este gás exige a sua extracção evitando a sua acumulação e o aumento de pressão nas condutas.

No estudo efectuado consideraram-se as duas situações, lamas em movimento e lamas estagnadas. Apesar de se considerar que as tubagens não terão, por períodos de tempo consideráveis, as lamas estagnadas, é sempre necessária a consideração desta ocorrência

para que seja estimada produção de gás próxima do real e este seja removido nas quantidades necessárias, não se acumulando nas condutas.

Para se efectuar a medição da produção de gás, procedeu-se à instalação observada na Figura 13.

Para tal, foi necessário manter três amostras de lamas mistas com diferentes concentrações a uma temperatura constante, estancando os recipientes e evitando potenciais perdas de gás.

Procedeu-se à ligação destes recipientes com três cilindros distintos cheios de água. Ao longo do tempo efectuou-se a agitação manual das amostras a fim de simular o movimento das lamas nas condutas.

À medida que se dá a produção de gás verifica-se um desnível na água dos cilindros. A partir das leituras deste desnível é possível verificar a produção de gás pelas lamas em questão.



Figura 13 - Instalação utilizada para verificação da produção de gás

7.3 Dimensionamento das Condutas

Para proceder ao dimensionamento das condutas a instalar é necessário efectuar a escolha do material a utilizar.

Após a escolha do material, os cálculos efectuados baseiam-se nas fórmulas anteriormente referidas para a determinação da perda de carga.

Salienta-se que as decisões tomadas englobam uma ponderação técnica e económica aos valores obtidos nos cálculos efectuados.

7.4 Estudo do Choque Hidráulico

Com o intuito de se verificar o comportamento do fluido no interior das condutas, foi efectuada uma simulação em programação Matlab, verificando-se as condições de pressão no interior das condutas.

Numa primeira fase foram determinados alguns parâmetros, como a celeridade e a fase (equações 14 e 15).

Considerando que a bomba utilizada será do tipo parafuso ou centrífuga, e conhecendo o ponto de funcionamento da bomba, recorreu-se ao critério do EPANET a fim de se determinarem mais dois pontos e assim obter a curva característica da bomba (CCB).

Para proceder à simulação foi necessário arbitrar alguns valores, todos os valores inseridos no programa encontram-se em anexo.

Ao longo do procedimento foi ainda necessário proceder a alguns ajustes nos valores inseridos, como no caso da simulação do RAC, motivo pelo qual não se apresentam os demais cálculos e apenas os valores utilizados em Anexo

O estudo efectuado foi pouco pormenorizado, tendo em conta que não foi possível obter o perfil longitudinal das condutas e não se conhecem características das bombas a utilizar.

7.5 Dimensionamento do Sistema de Compostagem

7.5.1 Escolha do sistema de compostagem

Antes de efectuar o dimensionamento do sistema de compostagem é necessário proceder à escolha do sistema a utilizar.

A escolha do sistema de compostagem foi efectuada tendo em atenção dois factores essenciais. Em primeiro lugar, atendeu-se à área disponível para o sistema, apesar de esta não ser muito elevada, será possível adquirir um terreno adjacente à ETAR e desta forma obtém-se uma área disponível maior.

Em segundo lugar, e não menos importante, teve-se em consideração o factor económico. É de salientar que todo o projecto envolverá um custo de investimento muito avultado, sendo que a instalação da central de compostagem é um dos factores que mais influencia a subida deste investimento.

Assim, pretende-se a instalação de um sistema de compostagem que comporte menores custos de investimento e que ainda que altamente mecanizado, seja tecnologicamente simplificado, permitindo assim a obtenção de um produto final de boa qualidade com um investimento económico aceitável.

Desta forma, a escolha do sistema de compostagem recai sobre a compostagem em canais.

Este sistema permite obter um controlo significativo sobre o processo devido ao sistema de arejamento por ar forçado e pela mistura do conteúdo dos canais de forma mecanizada, obtendo-se um composto final de elevada qualidade com um custo de investimento razoável.

7.5.2 Escolha do material estruturante

As características do material estruturante terão influência no processo de compostagem, sendo por isso necessário conhecer previamente as características do material a utilizar.

Para o sistema de compostagem em estudo, optou-se por utilizar um resíduo florestal, como a casca de pinheiro, que será entregue pelo fornecedor já triturado e pronto a ser utilizado na compostagem. Assim, apesar de este produto ser adquirido a um preço ligeiramente mais elevado, o investimento em trituradores e na respectiva mão-de-obra é diminuído.

7.5.3 Cálculo das dimensões do sistema de compostagem

O tipo de sistema de compostagem a utilizar tem grande influência no cálculo das dimensões necessárias a todo o processo.

7.5.3.1 Cálculo das misturas a efectuar

Na Tabela 9 apresenta-se a metodologia de cálculo para a mistura de dois matérias, a lama a compostar e o agente estruturante.

Tabela 8 - Nomenclatura a utilizar nos cálculos inerentes à compostagem

Nomenclatura	
a, b, c	Massa do material a, b, c...
%Ha, %Hb, %Hc	% de humidade do material a, b, c...
%Ca, %Cb, %Cc	% de carbono orgânico do material a, b, c... (base seca)
%Na, %Nb, %Nc	% de azoto total do material a, b, c... (base seca)
R	Rácio de C/N pretendido na mistura
Ra, Rb, Rc	Rácio de C/N no material a, b, c...

Tabela 9 - Fórmula de cálculo para a mistura de dois materiais

Mistura de dois materiais		
kg de material a por kg de b:	$a = \frac{\%Nb}{\%Na} * \frac{R-Rb}{Ra-R} * \frac{100-\%Hb}{100-\%Ha}$	[Equação 16]

Tabela 10 - Cálculo do Rácio C/N e teor de humidade na mistura de vários materiais

Mistura de vários materiais		
Rácio C/N =	$\frac{[\%Ca * a * (100 - \%Ha)] + [\%Cb * b * (100 - \%Hb)] + [\%Cc * c * (100 - \%Hc)] + \dots}{[\%Na * a * (100 - \%Ha)] + [\%Nb * b * (100 - \%Hb)] + [\%Nc * c * (100 - \%Hc)] + \dots}$	[Equação 17]
Teor de Humidade na mistura		
%Hmistura =	$\frac{(a * \%Ha) + (b * \%Hb) + (c * \%Hc) + \dots}{(a + b + c + \dots)}$	[Equação 18]

7.5.3.2 Cálculo das dimensões dos canais de compostagem

Tal como anteriormente referido, o sistema de compostagem a utilizar tem interferência no cálculo das dimensões necessárias. Assim, apresenta-se a metodologia de cálculo utilizada para sistemas de compostagem em canal.

Os cálculos foram realizados com recurso a folha Excel e com base na nomenclatura apresentada na Tabela 11.

Tabela 11 - Nomenclatura utilizada para cálculos inerentes à compostagem

Dados	Sigla	Unidades
Degradação activa		
Massa de lamas a compostar por dia	$m_{lama/d}$	kg/dia
Massa volúmica aparente da lama	ρ_{lama}	kg/m ³
Massa do meio de suporte a utilizar por dia	$m_{msup/d}$	kg/dia
Massa volúmica do meio de suporte	ρ_{msup}	kg/m ³
Tempo de retenção da fase de degradação activa	t_{ca}	dia
Largura e altura dos canais	L_{ca}, H_{ca}	m
Comprimento do canal	P_{ca}	m
Espaçamento entre canais	E_{ca}	m
Maturação		
Diminuição do volume de mistura após degradação activa	ΔV	%
Tempo de retenção da fase de maturação	t_m	dia
Largura e altura das pilhas	L_m, H_m	m
Comprimento máximo das pilhas	P_{mmax}	m
Espaçamento entre pilhas	E_m	m

Os parâmetros como (t_{ca}), (ΔV), (t_m) entre outras propriedades, devem ser determinados experimentalmente, visto que são função do tipo de materiais a compostar.

Para se efectuar a determinação da área necessária para compostagem é necessário determinar previamente a massa de meio de suporte a adicionar por massa de lama a compostar (equação 16) e o volume de lama e de meio de suporte compostar (equação 19).

$$V_d = \frac{m_{lama} / d}{\rho_{lama}} + \frac{m_{msup} / d}{\rho_{msup}} \quad [\text{Equação 19}]$$

Área necessária para degradação activa

A determinação da área necessária na fase de degradação activa divide-se em diferentes partes.

- Cálculo do volume total a compostar (V_t):

$$V_t = V_d * t_{ca} \quad [\text{Equação 20}]$$

- Definição da largura, altura e comprimento máximo dos canais;
- Cálculo da secção do canal para um sistema em canais (secção rectangular):

$$S = L_{ca} * H_{ca} \quad [\text{Equação 21}]$$

- Cálculo do número de pilhas a utilizar:

$$n^\circ \text{ de canais} = \frac{V_t}{S * P_{ca}} \quad [\text{Equação 22}]$$

Após este cálculo é necessário efectuar o arredondamento do número de canais para segurar que são instalados tantos canais quantos os efectivamente necessários. ($n^\circ \rightarrow N^\circ$)

- Cálculo da área necessária para degradação activa

$$A_{ca} = L_{ca} * P_{ca} * N^\circ \quad [\text{Equação 23}]$$

- Cálculo do espaçamento necessário entre canais

Antes de se determinar o espaçamento total existente entre os canais é necessário definir o espaçamento existente entre dois canais consecutivos. Assim, para um sistema de compostagem em canais temos:

$$AT_{ca} = Aca + (N^{\circ} + 1) * Eca * P_{ca} \quad \text{[Equação 24]}$$

Área necessária para fase de maturação

- Cálculo do volume de material a maturar

Antes de se efectuar o cálculo do volume é necessário arbitrar um tempo de retenção do composto nesta fase de cura. Os valores utilizados foram adquiridos através de literatura.

$$Vm = V_d * \Delta V * tm \quad \text{[Equação 25]}$$

O cálculo da área necessária para a fase de maturação segue o mesmo procedimento indicado para a fase de degradação activa.

Salienta-se que as dimensões das pilhas de maturação deverão estar de acordo com as calculadas, pois ao serem excedidas o composto estará propício ao aparecimento e crescimento de fungos, sendo inviabilizada a sua comercialização.

Área total necessária para o processo de compostagem

A área total necessária tem de ter em conta, para além da área necessária para as fases activa e de maturação, a área necessária para a movimentação de viaturas e para a instalação de equipamentos de crivagem, ensacamento, armazenamento, sistema de desodorização, sala de controlo. A estação pode necessitar da instalação de outros equipamentos que não serão no entanto considerados neste trabalho.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1 Análise Qualitativa e Quantitativa

8.1.1 Lamas ETAR de Sobreiras

8.1.1.1 Análise qualitativa de lamas

Na Tabela 12 apresentam-se os valores médios dos parâmetros analisados nas lamas da ETAR de Sobreiras, sendo que a totalidade dos resultados se apresenta em anexo.

Tabela 12 - Análise qualitativa das lamas de Sobreiras

Parâmetro	Unidades	Lamas primárias	Lamas biológicas	Lamas biológicas espessadas	Lamas mistas
ST	(mg/L)	14380	2997	22360	13877
SV	(mg/L)	12365	2302	18554	11473
SF	(mg/L)	2015	695	3806	2404
SST	(mg/L)	–	2772	–	–
SDT	(mg/L)	–	443	–	–
CQO	(mg/L)	–	–	–	18181
NTK	(mgN/L)	–	–	–	888
C	(mg/L)	–	–	–	10209
SV/ST	(%)	86	77	83	83
C	g/kg ST)	–	–	–	748
N	(gN/kg ST)	–	–	–	63

8.1.1.2 Produção de lamas primárias

Tabela 13 - Dados de base utilizados nos cálculos de produção de lamas

Parâmetro	Unidades	Valor
Caudal afluyente	m ³ /d	54000*
SST entrada	mg/L	523**
CBO	mg/L	585**

* Caudal de projecto

** Valores médios verificados entre 2007 e 2009

Tabela 14 - Determinação da produção de lamas primárias

Parâmetro	Unidades	Valor
Sólidos de entrada	kgSST/d	28242
Eficiência de remoção de SST	%	0,65
Sólidos removidos	kg/d	18357
Concentração de lamas primárias	mg/L	23000
Caudal de lamas produzido	m ³ /d	798
Matéria orgânica de entrada	kgCBO/d	31590
Eficiência de remoção de CBO	%	0,55
CBO removida	kg/d	17374
CBO restante	kg/d	14215

Após os cálculos necessários, foram obtidos os resultados presentes na Tabela 14, verificando-se que na ETAR de Sobreiras ocorre uma produção de lamas primárias de 798 m³/dia. Este valor pode apresentar uma ligeira discrepância do valor real de lamas primárias produzidas, uma vez que o caudal considerado para o cálculo é o caudal de projecto (54000m³/dia) e não o caudal real.

8.1.1.3 Produção de lamas biológicas

Tabela 15 - Determinação da produção de lamas biológicas

Parâmetro	Unidades	Valor
CBO entrada	kg/d	14216
Eficiência de remoção de CBO	%	0,95
CBO removidos	kg/d	13505
CBO restante	kg/d	711
Produção específica de lamas biológicas	kg ST/kgCBO	0,96
Fluxo de lamas biológicas	kg/d	12965
Concentração de lamas biológicas	mg/L	2700
Caudal de lamas biológicas produzido	m ³ /d	4802

O caudal de lamas biológicas produzidas diariamente é de 4802 m³, tal como indicado na Tabela 15. Este resultado foi obtido considerando a concentração de lamas fornecida pela ETAR e uma produção específica de lamas no decantador secundário de 0,96 kgST/kgCBO.

8.1.1.4 Produção de lamas mistas sem etapa de espessamento de lamas biológicas

Tabela 16 - Determinação da produção de lamas mistas, sem etapa de espessamento

Parâmetro	Unidades	Valor
Caudal de lamas mistas	m ³ /dia	5600
Tempo de funcionamento	h	24
Caudal de lamas mistas	m ³ /h	233
Concentração de lamas mistas	mg/L	5594
Concentração de lamas mistas	%	0,56

Considerando um período de funcionamento de 24 horas por dia, a produção de lamas mistas que são sujeitas a bombagem é de 233 m³/h. Este valor é significativamente elevado, tornando todo o processo de bombagem muito oneroso devido ao diâmetro necessário para o processo. Desta forma conclui-se que a etapa de espessamento de lamas biológicas actualmente em

funcionamento na referida ETAR não deverá ser desactivada, pois desta forma observa-se uma diminuição acentuada no caudal de lamas mistas a bombear.

O tempo de bombagem será de 24 horas por dia evitando a acumulação de lamas na ETAR de Sobreiras, mantendo o processo em contínuo.

8.1.1.5 Produção de lamas mistas com etapa de espessamento de lamas biológicas

Tabela 17 - Determinação da produção de lamas mistas, com etapa de espessamento

Parâmetro	Unidades	Valor
Produção de lamas biológicas	kg/d	12965
Concentração de lamas biológicas espessadas	mg/L	22360*
Caudal de lamas biológicas espessadas	m ³ /d	580
Caudal de lamas primárias	m ³ /d	798
Caudal de lamas mistas	m ³ /d	1378
Caudal de lamas mistas	m ³ /h	57

* Valor determinado nas análises efectuadas

Pela observação da Tabela 17 verifica-se que após a etapa de espessamento de lamas biológicas se verifica uma acentuada diminuição da quantidade de lamas biológicas, e por consequência, da quantidade de lamas mistas a bombear. Sem a etapa de espessamento, a produção de lamas mistas a bombear é de 233 m³/h, reduzindo-se para 57 m³/h após esta etapa. Assim, é possível a instalação de condutas de menores dimensões, reduzindo acentuadamente o investimento efectuado.

8.1.1.6 Espessamento de lamas mistas

Tal como anteriormente referido, as lamas bombeadas, na chegada à ETAR do Freixo seguem para uma etapa de espessamento. A quantidade de lamas obtidas após esta etapa de espessamento apresenta-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Espessamento de lamas mistas da ETAR de Sobreiras

Parâmetro	Unidades	Valor
Caudal de lamas a espessar	m ³ /dia	1378
Concentração das lamas a espessar	mg/L	15000
Concentração das lamas a espessar	kg/m ³	15
Fluxo de lamas a espessar	kg/dia	20669
Concentração das lamas após espessamento	%	3
Eficácia de captação de sólidos no espessador	%	92
Volume de lamas após espessamento	m ³ /dia	634

A produção de lamas espessadas é de 634 m³/d, sendo este o volume de lamas a misturar com as lamas da ETAR do Freixo e a encaminhar para a digestão anaeróbia.

8.1.1.7 Produção de gás durante a bombagem

A produção de gás das lamas mistas da ETAR de Sobreiras foi estimada com o intuito de verificar as exigências ao nível da instalação de válvulas de extracção de gás nas condutas. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 19 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 7 de Junho de 2010

		Ensaio		
	Unidades	1	2	3
Concentração de sólidos	mg MS/L	10648	14913	16643
Produção de gás após 20h	ml	–	74	80
Produção de gás após 22h	ml	70	–	–
Produção de gás após 24h	ml	80	86	82*

* A leitura possui um erro devido a uma fuga detectada. O valor deveria ser superior.

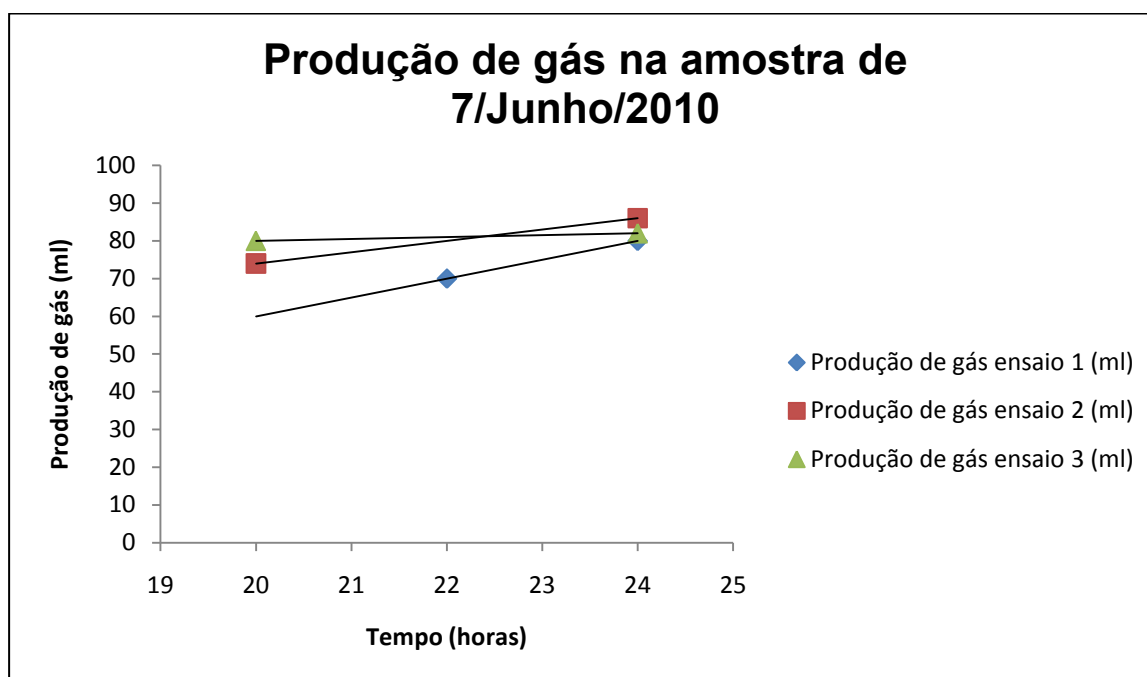


Figura 14 - Formação de gás na amostra de 7/Junho/2010

Tabela 20 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 14 de Junho de 2010 – ETAR de Sobreiras

		Ensaio		
	Unidades	1	2	3
Concentração de sólidos	mg MS/L	12305	13250	14930
Produção de gás após 1:30h	(ml)	7	24	–
Produção de gás após 3h	(ml)	22	20*	36
Produção de gás após 6h	(ml)	–	26	–
Produção de gás após 7:30h	(ml)	34	–	–
Produção de gás após 11h	(ml)	80	–	–
Produção de gás após 18h	(ml)	–	–	88
Produção de gás após 21h	(ml)	–	106	–
Produção de gás após 24h	(ml)	82	114	108**

* A diminuição da produção de gás deve-se possivelmente à ocorrência de actividade microbológica na amostra que ocasionou o consumo de oxigénio e a saída de ar dos tubos.

** O Ensaio 3 deveria apresentar valores mais elevados.

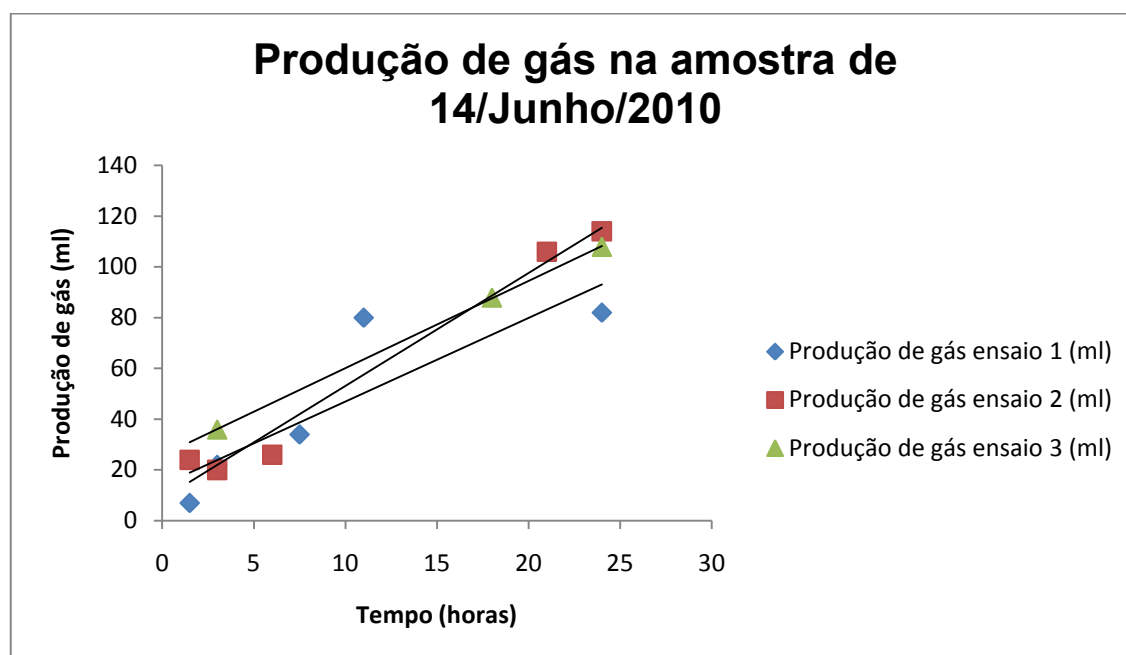


Figura 15 - Formação de gás na amostra de 14/Junho/2010

Tabela 21 - Resultados da determinação de produção de gás pelas lamas mistas em 16 de Junho de 2010 – ETAR de Sobreiras

		Ensaio		
	Unidades	1	2	3
Concentração de sólidos	mg MS/L	13290	14797	16345
Produção de gás após 1h	(ml)	–	18	16
Produção de gás após 2:30h	(ml)	20	22	–
Produção de gás após 3h	(ml)	24	24	–
Produção de gás após 4h	(ml)	30	26	–
Produção de gás após 5:30h	(ml)	34	–	–
Produção de gás após 15:30h	(ml)	–	–	50
Produção de gás após 17h	(ml)	–	–	62
Produção de gás após 18h	(ml)	–	68	66
Produção de gás após 21h	(ml)	80	72	–
Produção de gás após 23h	(ml)	82	–	82
Produção de gás após 24h	(ml)	84	78*	84**

* O valor registado deveria ser superior atendendo à concentração. Tal facto explica-se pela possível ocorrência de actividade microbiológica e consequente consumo de oxigénio

** O Ensaio 3 deveria apresentar valores mais elevados.

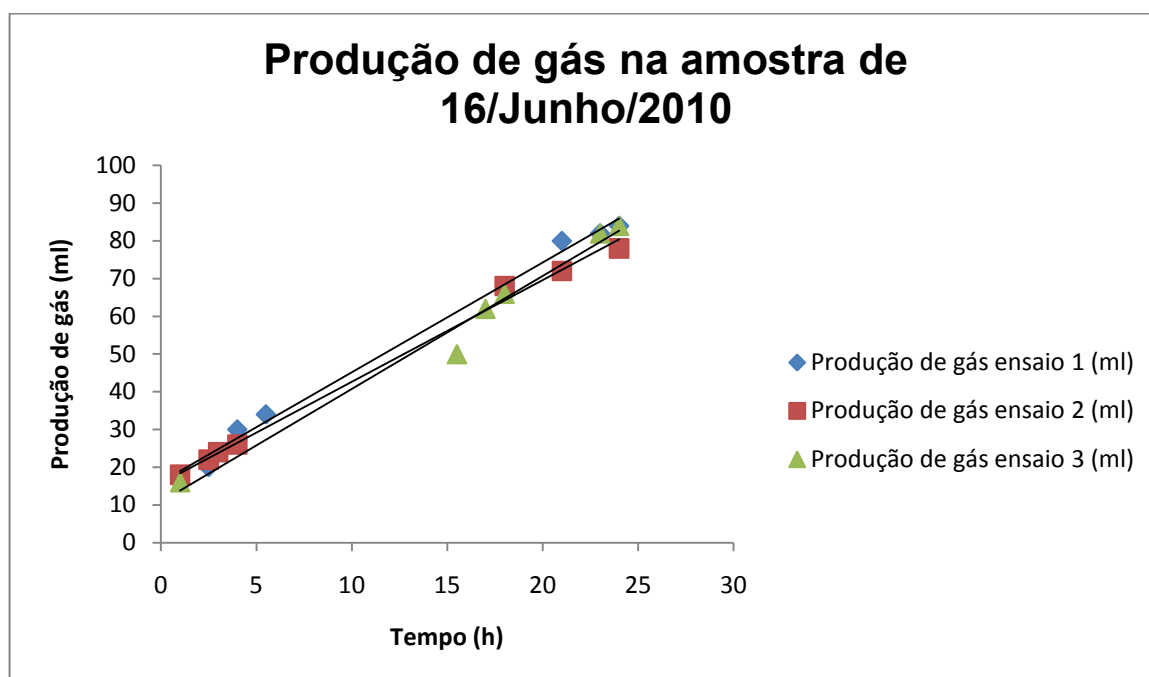


Figura 16 - Formação de gás na amostra de 16/Junho/2010

Foram efectuados apenas três ensaios para a determinação da produção de gás pois ao longo destes ensaios verificou-se que os valores não oscilam de forma significativa, seguindo sempre o mesmo padrão de evolução.

Observando os resultados obtidos, é possível concluir que a produção de gás é mais acentuada no início do processo, tendendo a diminuir com o decorrer do tempo.

Esta produção de gás apresenta valores mais elevados para concentrações em sólidos também mais elevadas.

Os ensaios mais concentrados de cada amostra apresentam valores de produção de gás mais reduzidos do que o esperado. Estes ensaios foram iniciados muito depois dos anteriores devido à lenta velocidade de decantação das lamas. Com isto, a sua agitação foi bastante reduzida pois durante a noite a agitação das amostras fica interrompida.

Assim, pode-se concluir que a produção de gás é mais elevada quando se procede à agitação das amostras, ou seja, há uma maior produção de gás durante o escoamento das lamas do que quando estas ficam estagnadas nas condutas.

A estagnação das lamas poderá ocorrer por motivos casuais, como a necessidade de manutenção nas condutas, paragens no GEB, ou possíveis fugas que obrigam à interrupção da bombagem e retirada das lamas das condutas. Contudo, apesar de serem apenas situações casuais, existe a necessidade de as prever e tomar medidas para que não conduzam a qualquer tipo de prejuízo.

Com isto, conclui-se que, tal como era esperado, é necessária a instalação de válvulas de libertação de gás, a fim de se libertarem os gases formados ao longo das tubagens, quer durante o escoamento das lamas, quer durante uma possível paragem no escoamento, evitando desta forma um aumento de pressões nas condutas.

Salienta-se que o gás produzido é susceptível de libertar odores ofensivos, pelo que deverá ser encontrada uma solução para a libertação do gás formado que não afecte a população adjacente às câmaras de libertação.

A libertação do gás poderá ser efectuada através de condutas com elevada altura, para que este não seja libertado ao nível da estrada. É no entanto necessário um estudo ponto a ponto devido à existência de habitações e de restauração com diversos andares que poderão ser afectados.

8.1.2 Lamas ETAR do Freixo

8.1.2.1 Caracterização qualitativa de lamas

Tabela 22 - Caracterização qualitativa das lamas do Freixo

Parâmetro	Unidades	Lamas primárias espessadas	Lamas biológicas	Lamas biológicas espessadas	Lamas mistas	Lamas digeridas
ST	mg/L	19367	7116	55946	21347	16456
SV	mg/L	15561	5702	44873	16038	12393
SF	mg/L	3807	1415	11073	5309	4063
CQO	mg O ₂ /L	-	-	-	-	18191
NTK	mgN/L	-	-	-	-	1246
C	mg C/L	-	-	-	-	10005
SV/ST	%	80	79	80	76	75
C	g C/kg ST	-	-	-	-	631
N	g N/kg ST	-	-	-	-	77

8.1.2.2 Produção de lamas

Os valores de referência utilizados para os cálculos da produção de lamas encontram-se na Tabela 23.

Tabela 23 - Dados de base utilizados nos cálculos de produção de lamas na ETAR do Freixo

Parâmetro	Unidades	Valor
Caudal afluente	m ³ /dia	35900*
Fluxo de SST na entrada	kg SST/dia	6137**
Fluxo de CBO na entrada	kg CBO/dia	8010**

* Caudal de projecto

** Valores médios obtidos entre 2007 e 2009

8.1.2.3 Produção de lamas primárias

Tabela 24 - Determinação da produção de lamas primárias

Parâmetro	Unidades	Valor
Fluxo de sólidos afluentes	kg SST/dia	6137
Eficiência de remoção de SST	%	0,65
Sólidos removidos	kg /dia	3989
Concentração de lamas primárias	mg /L	23748*
Caudal de lamas produzido	m ³ /dia	168
Matéria orgânica de entrada	kg CBO/dia	8010
Eficiência de remoção de CBO	%	0,55
CBO removida	kg/dia	4406
CBO restante	kg/dia	3605

* Valor médio obtido entre 2007 e 2009

Verifica-se após os cálculos efectuados que a produção de lamas primárias na ETAR do Freixo é de 168 m³/d, menor que o verificado na ETAR de Sobreiras, tal como era esperado.

Após consulta aos valores reais observados na ETAR, verificou-se que no espessamento das lamas primárias, a eficiência de remoção de sólidos é relativamente reduzida, por isso essa etapa não será abordada nos cálculos a efectuar.

8.1.2.4 Produção de lamas biológicas

Tabela 25 - Determinação da produção de lamas biológicas, antes da etapa de espessamento

Parâmetro	Unidades	Valor
Fluxo de CBO afluente	kg/dia	3605
Eficiência de remoção de CBO	%	0,95
Fluxo de CBO removida	kg/dia	3424
Fluxo de CBO restante	kg/dia	180
Produção específica de lamas biológicas	kg ST/kg CBO	0,96
Produção de lamas biológicas	kg/dia	3287
Concentração de lamas biológicas	mg/L	13228*
Caudal de lamas biológicas	m ³ /dia	249

* Valor médio obtido entre 2007 e 2009

Tabela 26 - Determinação da produção de lamas biológicas, após da etapa de espessamento

Parâmetro	Unidades	Valor
Produção de lamas biológicas	kg/dia	3287
Concentração de lamas biológicas espessadas	mg/L	41583*
Caudal de lamas espessadas	m ³ /dia	79

* Valor médio obtido entre 2007 e 2009

Pela observação dos resultados obtidos, Tabela 25 e Tabela 26, verifica-se que a etapa de espessamento de lamas biológicas é bastante eficiente, na medida em que se observa uma redução elevada no caudal de lamas biológicas. Antes da etapa de espessamento, obtém-se um caudal de 249 m³/d, que é reduzido para cerca de 79 m³/d após a etapa de espessamento. Desta forma, a quantidade de lamas mistas geradas será notavelmente inferior.

8.1.2.5 Produção de lamas mistas

Tabela 27 - Determinação da produção de lamas mistas

Parâmetro	Unidades	Valor
Produção de lamas primárias	m ³ /dia	168
Produção de lamas biológicas	m ³ /dia	249
Produção de lamas biológicas espessadas	m ³ /dia	79
Produção de lamas mistas sem etapa de espessamento biológico	m ³ /dia	417
Produção de lamas mistas com etapa de espessamento biológico	m ³ /dia	247

Pela análise dos valores obtidos, verifica-se que, tal como anteriormente referido, a produção de lamas mistas é bastante inferior quando a ETAR tem em funcionamento uma etapa de espessamento de lamas biológicas.

Desta forma, a produção de lamas mistas é de 247 m³/d, sendo esta a quantidade de lamas que será misturada com as lamas espessadas provenientes da ETAR de Sobreiras.

8.2 Dimensionamento das Condutas

Para ser possível dimensionar as condutas a instalar, foi necessário proceder previamente à escolha do material constituinte destas condutas.

Para tal, teve-se em consideração o fluido a bombear, lamas de depuração, fluido com viscosidade e cargas de sólidos consideráveis.

A velocidade à qual o escoamento se processará é considerável, variando geralmente entre 0,6 e 0,9 m/s, sendo necessária a instalação das condutas em material resistente.

Entre outros factores, considerou-se a necessidade de uma resistência elevada devido às velocidades consideráveis a que se verifica o escoamento, devido ao possível assentamento das condutas no terreno, mesmo que remoto e ainda devido às pressões verificadas no interior das condutas.

Tendo em consideração que as tubagens serão construídas sobre os passadiços entre as duas ETAR, e por isso não estarão sujeitas às pressões da circulação rodoviária, estando parte da conduta inserida numa galeria técnica, não será necessária a utilização de tubagens de ferro fundido (FFD), mais resistentes mas mais onerosas e de instalação complexa devido à elevada necessidade de soldadura entre as partes constituintes de toda a tubagem.

Com isto, considera-se como uma solução adequada a utilização de condutas em PEAD, também estas resistentes e com uma instalação mais simples e facilitada devido à flexibilidade de manuseamento do material. Como estas condutas são adquiridas em tubos de comprimento elevado, a união entre diferentes tubos é necessária em menor escala do que se verifica com o ferro fundido, sendo efectuada a soldadura topo a topo.

Prevendo e acautelando possíveis rupturas nas tubagens, impedindo a bombagem de lamas e a sua acumulação a montante (ETAR de Sobreiras), será necessária a instalação de duas condutas em paralelo. Ambas as tubagens terão iguais características, estando uma sempre em funcionamento, enquanto que apenas se recorrerá à outra quando se verificarem necessidades de interromper a bombagem na conduta em questão.

Atendendo ao facto de que uma conduta se desgasta mais facilmente quando se encontra inactiva, será possível diminuir este desgaste efectuando a repartição do caudal pelas duas condutas, estando as duas em contínuo funcionamento. Caso haja necessidade de interrupção do escoamento numa das condutas, a outra terá capacidade de escoar o caudal total e como tal a bombagem não é interrompida.

Após o cálculo da perda de carga foi possível optar pelo diâmetro adequado, tendo sempre em consideração a diminuição dos custos de investimento e o estabelecimento das condições necessárias a uma bombagem correcta e segura.

O dimensionamento das condutas foi efectuado atendendo à variação do valor da perda de carga com o diâmetro das tubagens. Considera-se que a bombagem será efectuada 24 horas por dia.

Para se determinar qual o diâmetro mais adequado à conduta requerida foi necessário proceder a uma ponderação dos vários valores e perda de carga obtidos a partir da variação do diâmetro das condutas. Entre outros factores, foi também tido em atenção o factor económico e a velocidade de escoamento.

Os resultados obtidos apresentam-se nas Tabela 28, Tabela 29 e Tabela 32.

Tabela 28 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 125mm

Parâmetro	Unidades	Valor
Velocidade	m/s	1,30
Número de Reynolds	Adimensional	41446
Número de Hedstrom	Adimensional	796875
Perda de carga	N/m ²	1655498
Perda de carga	bar	16,55

Tabela 29 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 150mm

Parâmetro	Unidades	Valor
Velocidade	m/s	0,9
Número de Reynolds	Adimensional	34538
Número de Hedstrom	Adimensional	1147500
Perda de carga	N/m ²	665308
Perda de carga	bar	6,65

Tabela 30 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 200mm

Parâmetro	Unidades	Valor
Velocidade	m/s	0,51
Número de Reynolds	Adimensional	25904
Número de Hedstrom	Adimensional	2040000
Perda de carga	N/m ²	157880
Perda de carga	bar	1,58

Pela observação dos resultados obtidos verifica-se que o diâmetro de 125mm apresenta uma perda de carga excessivamente elevada (16,55bar) e tem uma velocidade de escoamento elevada para o fluido em questão. Com isto, não será uma escolha adequada.

Ao utilizar uma conduta com diâmetro de 150mm, a perda de carga reduz-se até aos 6,65 bar, cerca de metade da anterior e a velocidade apresenta agora um valor bastante razoável (0,9 m/s).

À medida que o diâmetro aumenta, a velocidade de escoamento diminui e com ela também a perda de carga. Com isto, os valores de perda de carga mais aprazíveis são obtidos para condutas com diâmetro de 200mm.

Tendo em consideração os resultados obtidos, a conduta de 150mm será a mais adequada para a bombagem de lama, visto que apresenta valores de perda de carga e velocidades dentro da gama requerida e aceitável para o sistema.

Os valores dos parâmetros anteriormente referidos são contudo mais adequados quando se utiliza uma conduta de 200 mm, no entanto a instalação de condutas com este diâmetro seria excessivamente onerosa, não sendo de todo necessária a utilização de condutas com este diâmetro.

Tendo em consideração que as condutas serão em PEAD, verifica-se que de entre os diâmetros disponíveis não consta o anteriormente determinado (150mm).

Atendendo ao diâmetro interno disponível para este material, a escolha do diâmetro mais adequado para as condutas em questão recai sobre um diâmetro nominal de 160mm. As características seleccionadas são: PEAD, PE/MRS 100, DN 160, PN 12,0.

A conduta escolhida apresenta um diâmetro interior de 144,60mm, com isto a perda de carga e velocidade verificadas nas condutas apresentam-se na Tabela 31.

Tabela 31 - Resultados obtidos para condutas com diâmetro igual a 144,6mm

Parâmetro	Unidades	Valor
Velocidade	m/s	0,97
Número de Reynolds	Adimensional	25828
Número de Hedstrom	Adimensional	1066367
Perda de carga	N/m ²	799167
Perda de carga	bar	7,99

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que com um diâmetro e 144,6 mm a perda de carga é ligeiramente superior à obtida para condutas de 150mm, no entanto, devido aos factores anteriormente referidos, será esta a solução mais adequada.

8.3 Choque Hidráulico

Tal como anteriormente referido, foi efectuada uma simulação da ocorrência de choque hidráulico nas condutas, consequência da paragem súbita do grupo electrobomba.

Para a simulação foi considerado um caudal de bombagem de 15,95l/s. É de salientar que uma vez que o estudo do choque hidráulico foi pouco pormenorizado, todos os valores necessários para a referida simulação se encontram em anexo.

Numa primeira fase efectuou-se uma simulação do choque hidráulico sem qualquer tipo de protecção para as condutas, verificando-se a eventual necessidade da instalação de algum dispositivo de protecção contra os efeitos do choque hidráulico, apresentando-se na Figura 17 o resultado desta simulação.

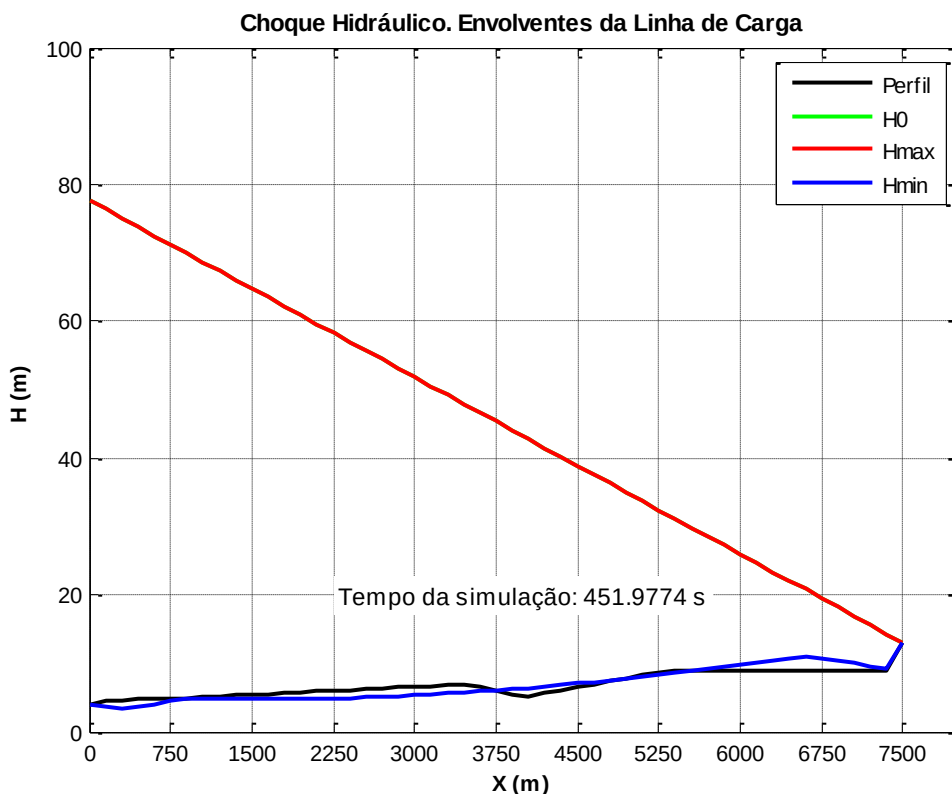


Figura 17 - Choque Hidráulico - Envolventes da linha de carga

Analisando o resultado da simulação efectuada verifica-se que o factor de maior importância é a ocorrência de pressões negativas na conduta. Estas pressões verificam-se entre a estação elevatória de Sobreiras e os 750 metros e entre o quilómetro 1 e o quilómetro 3,75.

A ocorrência de pressões negativas poderia ser preocupante caso se tratasse de abastecimento de água, pois poderia causar danos nas condutas e provocar infiltrações, degradando a qualidade da água.

Apesar de não se verificar o risco de poluição do fluido contido nas condutas, é de elevada importância manter a integridade das mesmas, evitando a ocorrência de situações de fuga e contaminação de solos e águas adjacentes às condutas.

Para aliviar as condutas das ondas de pressão aquando da ocorrência de choque hidráulico, é usual a instalação de um reservatório de ar comprimido (RAC).

Assim, simulou-se a ocorrência de choque hidráulico com um RAC instalado, tendo-se obtido os resultados apresentados na Figura 18.

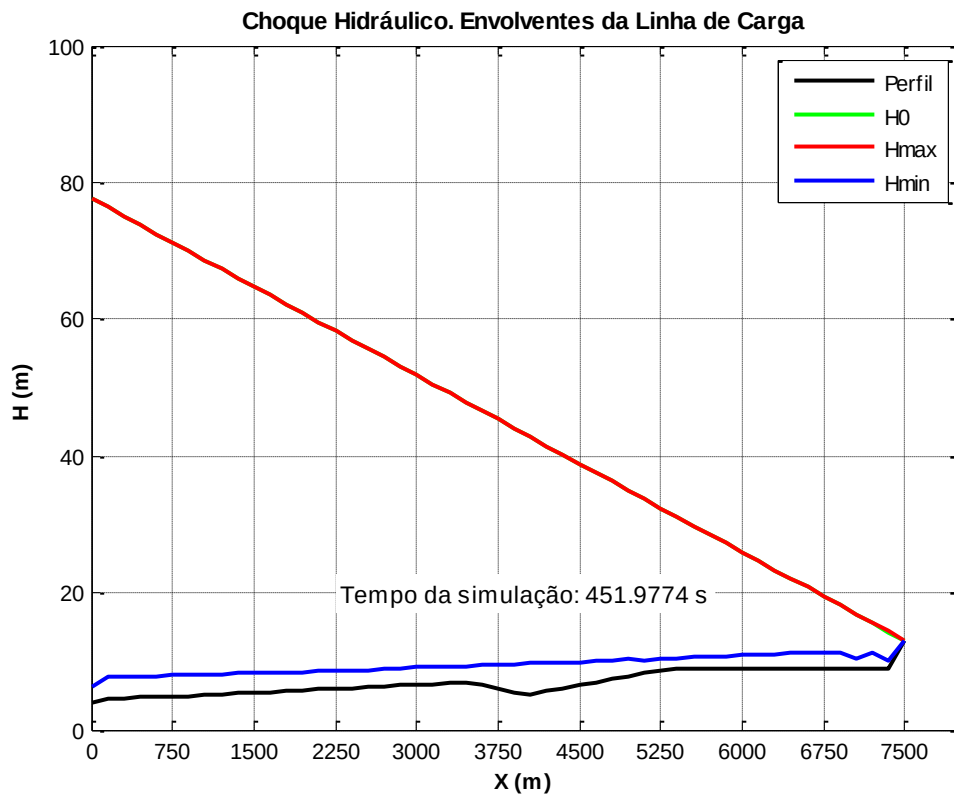


Figura 18 - Simulação do choque hidráulico com RAC

Após a instalação do RAC verifica-se que as pressões negativas anteriormente referidas já não se observam. Desta forma, se se observar a paragem súbita da bomba, o RAC entrará em funcionamento, verificando-se que o efeito das ondas de pressão geradas será atenuado, garantindo a integridade das condutas.

Assim, verifica-se a necessidade da instalação de um reservatório de ar comprimido a fim de se atenuar os efeitos do choque hidráulico.

Salienta-se que o perfil longitudinal da conduta não é conhecido, sendo que para efectuar um estudo mais aprofundado do choque hidráulico e das condições no interior da conduta, seria necessário conhecer este perfil ao longo de todo o trecho.

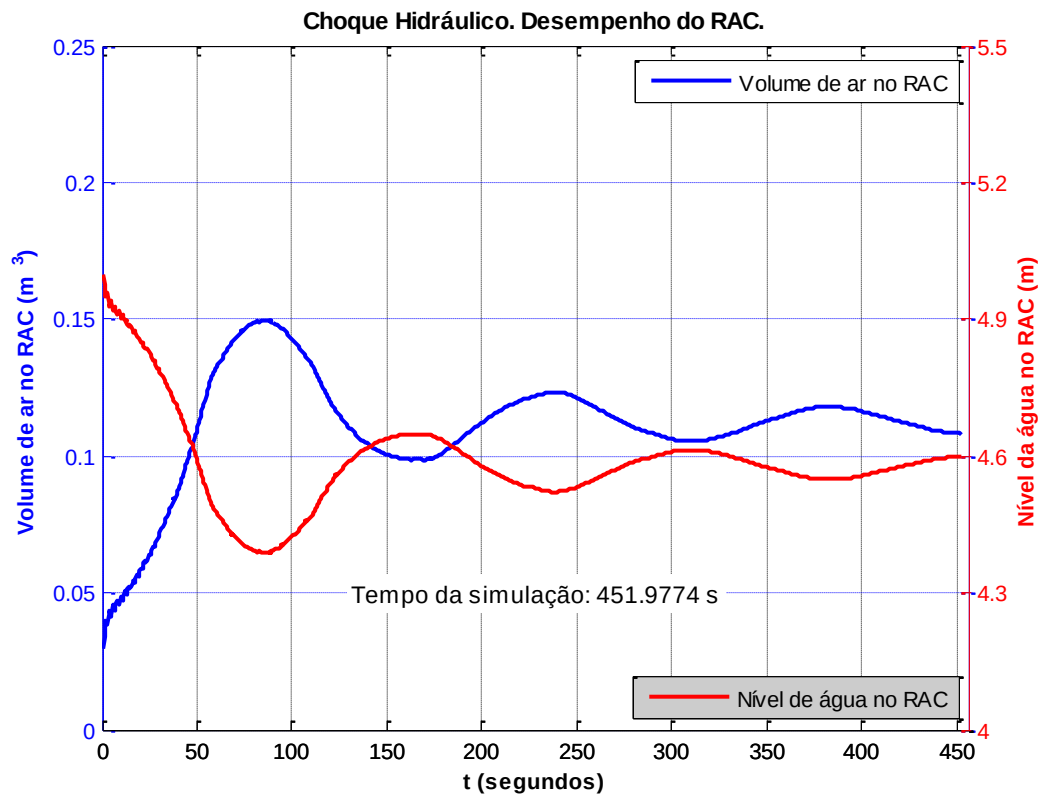


Figura 19 - Simulação da variação do volume de ar e de água no interior do RAC

A Figura 19 apresenta o comportamento verificado no interior do RAC.

Aquando da ocorrência do choque hidráulico, verifica-se a propagação das ondas de pressão que fazem oscilar o volume de ar e de água no interior do RAC. À medida que o volume de ar aumenta dentro do reservatório, o volume de água diminui, efeito este que permite atenuar o efeito das ondas de pressão nas condutas.

8.4 Digestão anaeróbia

A quantidade de lamas encaminhadas para o digestor anaeróbio é dependente da produção total de lamas mistas na ETAR do Freixo e da produção total de lamas mistas espessadas originadas na ETAR de Sobreiras. O volume de lamas a digerir apresenta-se na Tabela 32.

Tabela 32 - Volume de lamas à entrada do digestor anaeróbio

Parâmetro	Unidades	Valor
Volume de lamas mistas espessadas - ETAR de Sobreiras	m ³ /dia	634
Volume de lamas mistas - ETAR do Freixo	m ³ /dia	247
Volume de lamas a digerir	m ³ /dia	881
Fluxo de lamas a digerir	kg/dia	24289

Durante o processo de digestão anaeróbia, através da actividade dos microrganismos dá-se a formação de metano, gás com elevado poder calorífico. Apresentam-se de seguida na Tabela 33 os valores obtidos para a produção de gás verificada pela digestão das quantidades de lama acima referidas.

Tabela 33 - Produção de biogás durante a digestão anaeróbia

Parâmetro	Unidades	Valor
Produção específica de biogás	m ³ /kg VS	0,9
Destruição de Sólidos Voláteis durante a digestão	%	50
Concentração de Sólidos Voláteis nas lamas a digerir	kg MVS/dia	19188
Produção de biogás	m ³ /dia	8635
Valor energético do biogás	Mj/m ³	22,4
Valor energético do biogás produzido	Gj/dia	193

Salienta-se que a concentração de sólidos voláteis presentes nas lamas a digerir foi calculada através dos resultados obtidos nas análises laboratoriais efectuadas às lamas de ambas as ETARs. Considerou-se para tal que estas lamas apresentam uma concentração média em sólidos voláteis de cerca de 79%.

Os valores apresentados para a produção específica de biogás e para o valor energético do biogás foram obtidos através de literatura.

Nos cálculos efectuados foi considerada uma destruição de sólidos voláteis de cerca de 50%, valor esperado aquando do funcionamento do digestor.

Assim, verifica-se a produção de 8635 m³ de biogás por dia, tendo este um valor energético de 193 Gj/d.

O biogás formado pode ser utilizado quer para produção de energia eléctrica, quer para aquecimento dos digestores.

Tabela 34 - Produção energia eléctrica a partir do biogás gerado

Parâmetro	Unidades	Valor
Eficácia do motor	%	0,28
Eficácia do gerador	%	0,9
Factor de conversão	kW/ (GJ/dia)	11,575
Potência da electricidade produzida	Gj/dia	48,7
Potência da electricidade produzida	kW	564

Atendendo aos resultados da Tabela 34, observa-se que a potência eléctrica produzida é de apenas 564 kW devido à reduzida eficácia do motor. A restante energia não é perdida, mas sim aproveitada em forma de calor para o aquecimento dos digestores. Desta forma, os 564 kW obtidos podem ser utilizados para consumo próprio na estação ou então vendidos à rede com tarifa de energia renovável.

Após a etapa de digestão, onde a matéria orgânica é degradada e parte dos sólidos voláteis destruídos, a quantidade de lamas é significativamente menor.

O cálculo da quantidade de lamas digeridas é efectuado com base nos sólidos fixos e nos sólidos voláteis presentes nas lamas a digerir.

Assim, os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 35.

Tabela 35 - Produção de lamas digeridas anaerobiamente

Parâmetro	Unidades	Valor
Concentração de Sólidos Voláteis nas lamas a digerir	kg MVS/dia	19188
Destruição de Sólidos Voláteis durante a digestão	%	50
Fluxo de lamas com origem nos SF	kg/dia	5101
Fluxo de lamas com origem nos SV	kg/dia	9594
Fluxo total de lamas digeridas	kg/dia	14695

Durante a etapa de digestão anaeróbia, o fluxo de lamas é notavelmente reduzido, passando de 24289 quilogramas de lamas a digerir por dia, para 14695 quilogramas de lamas após digestão, o que equivale a uma redução de cerca de 40% do fluxo de lamas.

Após a etapa de digestão anaeróbia, as lamas digeridas são desidratadas por centrifugação, sendo a quantidade de lamas desidratadas posteriormente enviada para compostagem. A quantidade de lamas desidratadas apresenta-se na Tabela 36.

Tabela 36 – Determinação do volume de lamas desidratadas

Parâmetro	Unidades	Valor
Fluxo de lamas a desidratar	kg/dia	14695
Eficácia de captação de sólidos	%	95
Funcionamento das centrífugas	dias/semana	5
Fluxo de lamas a desidratar (em 5 dias)	kg/dia	20573
Fluxo de lamas desidratadas	kg/dia	19544
Concentração de lamas desidratadas	mg/L	250000
Volume de lamas desidratadas	m ³ /dia	78

A determinação do volume de lamas desidratadas foi efectuada considerando uma concentração de 25% das mesmas.

Mais uma vez se observa uma diminuição do fluxo total de lamas.

Desta toma, o fluxo de lamas fica reduzido de 20573 kg/d para 19544 kg/d após a etapa de desidratação.

Esta diminuição do fluxo de lamas é reduzida visto que as centrífugas possuem uma capacidade de captação de sólidos de cerca de 95%.

8.5 Compostagem

8.5.1 Determinação da Área Necessária ao Processo de Compostagem

8.5.1.1 Características dos materiais a misturar

Tabela 37 - Características dos materiais a compostar

Características dos materiais	
Lamas	
% Humidade	84
%Corgânico	43,9
%Norgânico	6,40
C/N	6,9
Meio de suporte - Resíduo florestal	
%Humidade	13
%Corgânico	47,4
%Norgânico	0,82
C/N	57,8

Os valores presentes na Tabela 37 representam as características referentes às lamas a compostar e ao agente estruturante a utilizar.

Visto que o agente estruturante a utilizar será comprado, não estando ainda definido qual o tipo de resíduo florestal a adquirir, foram adoptados os parâmetros obtidos através de análises laboratoriais por um colega ao longo do seu trabalho de dissertação.

O resíduo florestal em questão apresenta um rácio C/N bastante elevado e atractivo, na medida em que é capaz de compensar o rácio C/N reduzido que se verifica nas lamas a compostar.

8.5.1.2 Determinação das quantidades de materiais a compostar

Na Tabela 38 apresentam-se as quantidades de material a compostar, em função da quantidade de lama produzida. Os cálculos foram efectuados com base na equação 16, considerando a mistura de apenas dois materiais, agente estruturante e lama.

Para tal, considerou-se um Rácio C/N pretendido de 30 ($R=30$) e uma humidade da mistura próxima de 55%.

Tabela 38 - Determinação das quantidades de materiais a compostar

Proporção dos materiais	
b - kg lama	Amostra
a - kg meio suporte	Resíduo Florestal
a	1,1948
b	1
%Ma	13
%Mb	84
%Na	0,82
%Nb	6,40
Ra	57,8
Rb	6,9
R	30
Humidade da mistura	45,3

Com a adição do agente estruturante ocorre uma secagem do material, sendo necessário proceder à adição de água à mistura, a fim de se obter a humidade requerida para proceder ao processo de compostagem.

Na Tabela 39 apresentam-se as quantidades de água requeridas para estabelecer a percentagem de humidade necessária, sendo que %H é referente à percentagem de humidade requerida na mistura, %Ha representa a percentagem de humidade na água e %Hb a humidade verificada após mistura dos materiais (lama e agente estruturante).

Tabela 39 - Cálculo das necessidades de adição de água à mistura

Adição de água	
%H	55
%Ha	100
%Hb	45,3
a - kg água por kg de mistura	0,2145

Desta forma, será necessário adicionar 0,2145 kg de água por cada kg de mistura obtido para se estabelecer uma percentagem de humidade de 55%.

8.5.1.3 Determinação da área necessária para degradação activa

Estão apresentadas na Tabela 40 os dados referentes à determinação do volume total de mistura a compostar e na Tabela 41 os referentes à determinação da área necessária à compostagem do referido volume.

Tabela 40 - Determinação do volume de mistura a compostar

Parâmetro	Unidades	Valor
Massa de lama anual	kg	7133560
Massa lama por dia	kg	19544
Massa de meio suporte	kg/dia	23351
ρ lama	kg/m ³	980
ρ meio suporte	kg/m ³	207
Volume da lama	m ³ /dia	19,9
Volume de meio suporte	m ³ /dia	112,8
Volume total	m ³ /dia	132,8

Tabela 41 - Determinação da área necessária para degradação activa

Parâmetro	Unidades	Valor
Tempo de retenção	dias	20
Volume	m ³	2655
Largura	m	3
Altura	m	2,4
Comprimento máximo canal	m	50
Área de Secção	m ²	7,2
Nº de canais necessário		7
Nº de canais a instalar		7
Área necessária para canais	m ²	1050
Espaçamento entre canais	m	0,8
Área canais + espaçamento	m ²	1370

O tempo de retenção, largura e altura dos canais foi obtido através de bibliografia, sendo que o espaçamento entre canais foi arbitrado, considerando uma dimensão suficiente para a movimentação de operários e eventuais equipamentos.

Com os valores acima referidos, verifica-se que na fase de degradação activa é necessária uma área de 1370 m².

8.5.1.4 Determinação da área necessária para a fase de maturação

Tabela 42 - Determinação da área necessária para a fase de maturação do composto

Parâmetro	Unidades	Valor
Diminuição do volume a maturar	%	50
Volume de mistura a maturar	m ³ /dia	66,4
Tempo de retenção	dias	25
Volume total a maturar	m ³	1659
Largura	m	3
Altura	m	2,4
Comprimento máximo da pilha	m	50
Área de Secção	m ²	7,2
Número de pilhas necessárias		4,6
Número de pilhas a instalar		5
Área necessária para as pilhas	m ²	750
Espaçamento entre pilhas	m	0,8
Área das pilhas + área dos espaçamentos	m ²	990

A fase de maturação do composto exige a disponibilidade de uma área de 990 m², substancialmente inferior à área necessária para a fase activa da compostagem.

8.5.1.5 Determinação da área necessária para armazenamento temporário

Tabela 43 - Determinação da área necessária para o armazenamento temporário de materiais

Área necessária para Armazenamento temporário				
	m ³ /dia	Dias	Total (m ³)	Área (m ²) **
Armazenamento de lamas	19,9	2	40	13
Armazenamento de meio de suporte	112,8	7	790	263
Composto *	53,1	60	3186	1062
Total				1339

* Admitindo 40 % do volume de mistura que entra para compostagem.

** Secção rectangular e altura máxima de 3 m

Pela observação da Tabela 43 verifica-se que a fase de armazenamento de materiais tem uma contribuição elevada para o acréscimo da área necessária ao processo de compostagem. Nesta fase salienta-se a necessidade de armazenamento de composto nos meses em que este não tem procura comercial razoável.

O armazenamento de lamas é muito reduzido devido ao seu poder de putrefacção, necessitando-se de apenas 13 m².

8.5.1.6 Determinação da área necessária para equipamentos

Tabela 44 - Determinação da área necessária para equipamentos

Área necessária para equipamentos	
	Área (m ²)
Crivagem	120
Ensacamento	50
Total	170

8.5.1.7 Determinação da área total do processo de compostagem

Tabela 45 - Determinação da área total necessária para o processo de compostagem

Área total necessária para o Compostagem	
	Área (m²)
Fase activa	1370
Fase de maturação	990
Armazenamento temporário de materiais	1339
Equipamentos	170
Total	3869

Verifica-se pela observação da Tabela 45 que a fase que exige uma maior disponibilidade de área é a fase da degradação activa, ocupando uma área de 1370 m².

A fase de armazenamento de materiais necessita também de uma área elevada por motivos acima referidos.

Assim, o processo de compostagem exige a disponibilidade de uma área de 3869 m², área esta bastante reduzida quando comparada com as necessidades referentes ao sistema de pilhas reviradas.

A área total determinada é inferior à efectivamente necessária uma vez que não foi tida em consideração a necessidade de espaço para movimentação de veículos e equipamentos e ainda a necessidade de uma área administrativa e uma área verde envolvente.

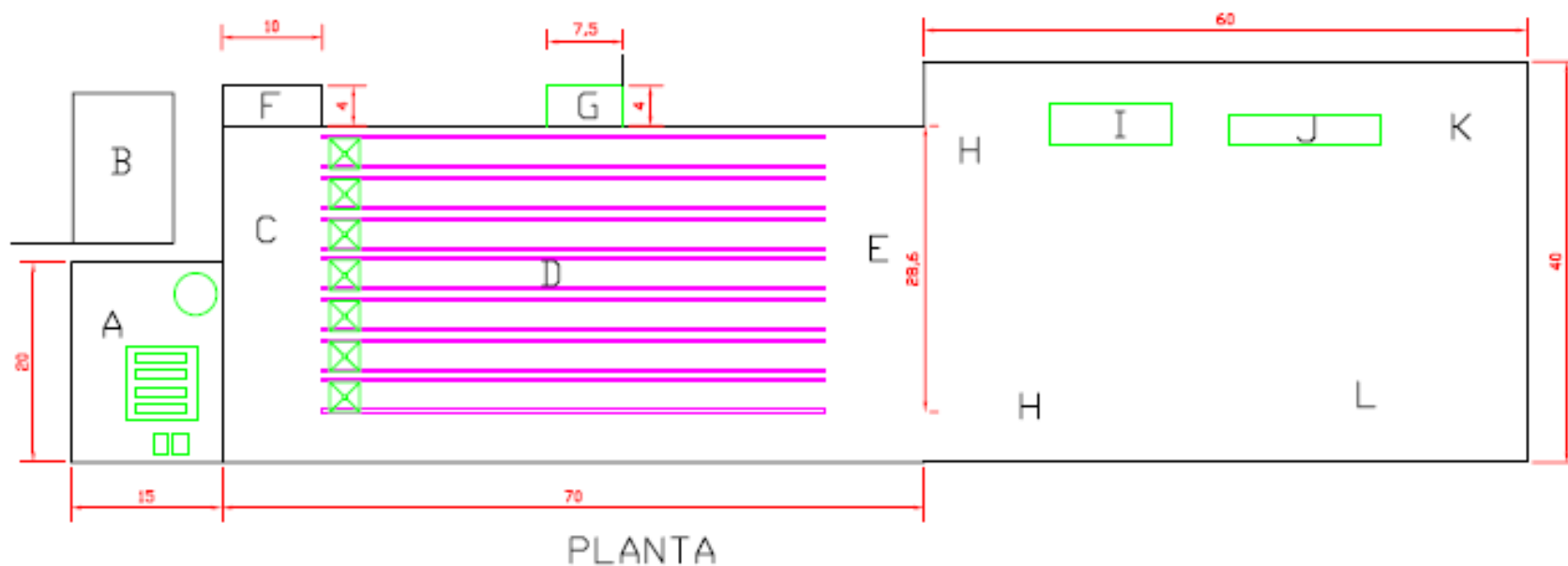
Salienta-se a necessidade de prevenir e instalar um sistema de recolha de lixiviados e um sistema de desodorização. Acresce ainda a necessidade de instalar a central de compostagem de forma a que esta tenha uma cobertura capaz de proteger o processo de condições climáticas adversas como a precipitação e a humidade excessiva do ar, interferindo no processo e originando uma maior formação de lixiviados.

Devido às limitações inerentes à área disponível na ETAR do Freixo, uma solução possível para a implementação da central de compostagem encontra-se esquematizada na Figura 20. Na solução apresentada a localização dos silos de armazenamento de agente estruturante encontram-se num piso superior de forma a que cada canal de compostagem possua um silo, descarregando directamente o agente estruturante para o início do canal. Desta forma será possível utilizar de forma mais eficiente a área disponível.

As centrífugas para desidratação de lamas não se encontram protegidas por cobertura rígida, estando no entanto instaladas junto à central a fim de diminuir custos associados ao transporte de lamas para os canais de compostagem.

A zona de maturação, ensacamento e de armazenamento do material a granel localiza-se logo após os canais de maturação, diminuindo assim o percurso de transporte do composto a maturar.

Na Figura 21 é possível observar a planta da ETAR do Freixo, estando referenciada a zona de implementação da central de compostagem e a localização dos novos digestores a instalar.



A: Edifício de desidratação de lamas e silo de armazenamento
 B: Edifício de apoio
 C: Zona de entrada de compostagem
 D: Canal de compostagem
 E: Zona de saída de compostagem
 F: Sala de comando

G: Sala de compressor de ar
 H: Zona de maturação
 I: Crivador
 J: Ensacador
 K: Zona de armazenamento de produto ensacado
 L: Zona de armazenamento de produto em granel

Figura 20 - Planta da central de compostagem a implementar

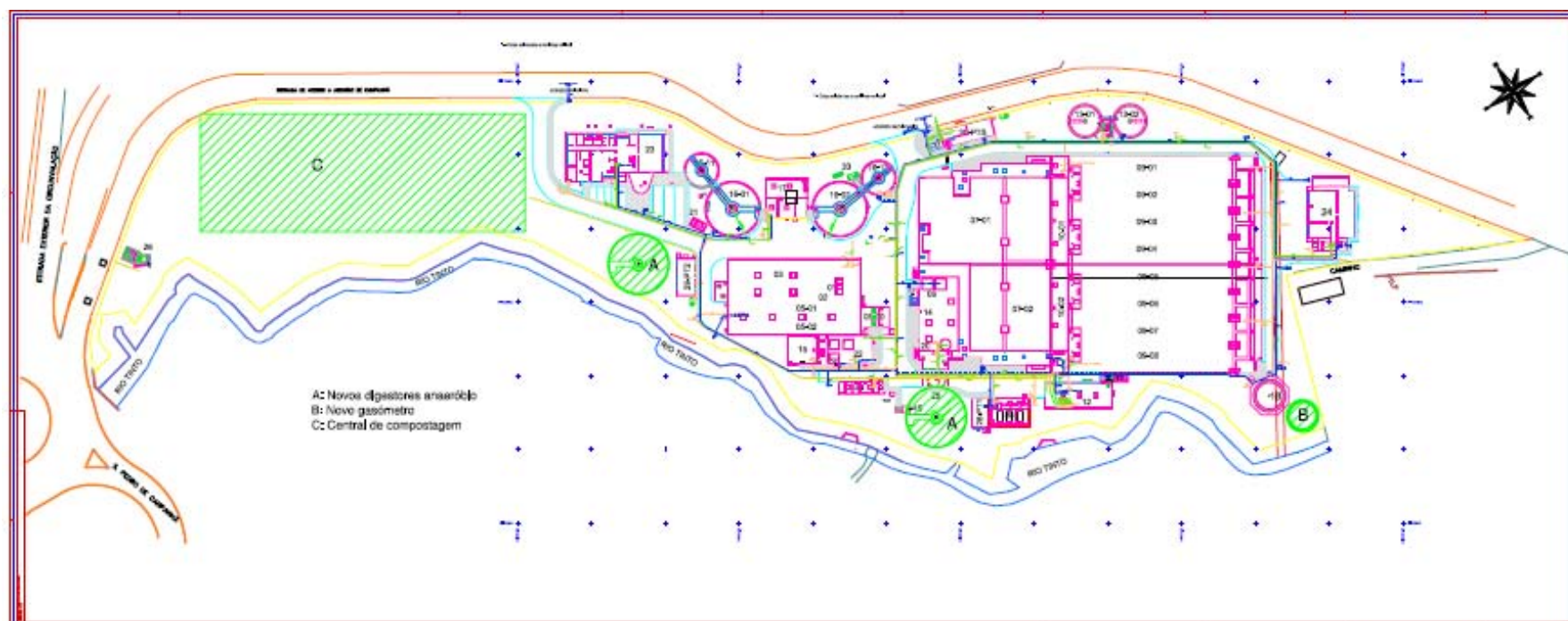


Figura 21 – Planta da ETAR do Freixo, incluindo alterações a implementar

8.5.2 Determinação das necessidades de arejamento

O cálculo do arejamento necessário no processo de compostagem é efectuado com base no referido no capítulo 4.6.

Na Tabela 46 apresentam-se os valores da fracção biodegradável de sólidos quer para a lama, quer para o agente estruturante a utilizar. Salienta-se que o teor em lenhina foi obtido através de literatura e os restantes parâmetros obtidos através das análises efectuadas.

Tabela 46 - Determinação da fracção biodegradável dos materiais a compostar

Parâmetro	Unidades	Lamas	Resíduos Florestais
Massa	kg/dia	19544	18334
ts	-	0,16	0,87
vs	-	0,81	0,85
Teor em lenhina	%	6,9	27,8
bvs	-	0,6368	0,0516

Antes de efectuar o cálculo das necessidades de arejamento, é necessário proceder ao cálculo da pressão de saturação do vapor de água, pressão de vapor e humidade específica para as condições de entrada e de saída.

Para tal admitiu-se uma temperatura ambiente de 20 °C e uma humidade relativa de 75%. A temperatura de saída do gás dos canais de compostagem é de 55 °C.

Tabela 47 - Determinação da humidade específica de entrada e de saída

Parâmetro	Unidades	Valor
P_{atm}	mm Hg	760
T_e	°C	20
ϕ_e	-	0,75
P_{sat_e}	mm Hg	18,3
P_v	mm Hg	13,7
w_e	kg água/kg ar seco	0,0114
T_s	°C	55
ϕ_s	-	1
P_{sat_s}	mm Hg	119,1
P_{v_s}	mm Hg	119,1
w_s	kg água/kg ar seco	0,116

8.5.2.1 Cálculo das necessidades estequiométricas de ar

Para proceder ao cálculo das necessidades estequiométricas, foram consideradas as reacções de decomposição das lamas e do resíduo estrutural apresentadas nas equações 26 e 27. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 48.

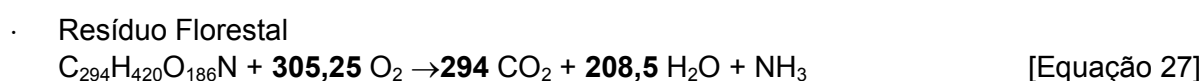
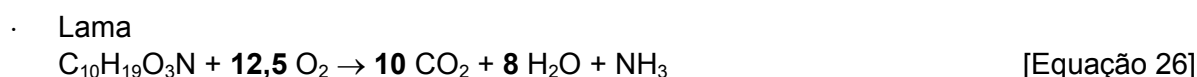


Tabela 48 - Determinação das necessidades estequiométricas de arejamento

	Unidades	Lama	Resíduo florestal
Número de moles do material	kmoles	1	1
Massa molar do material	kg/kmol	201	6938
nº moles O ₂	kmoles	12,5	305,25
Massa molar do O ₂	kg/kmol	32	32
Massa de O ₂	kg	400	9768
X_i^*	kg O ₂ /kg massa*	1,99	1,41
qmmi		535,41	175,14
qmm		710,55	

* Considerando que toda a matéria orgânica é degradada.

Por último, apresentam-se os cálculos que possibilitaram a determinação da massa de ar a introduzir nos canais por unidade de mistura a biodegradar.

8.5.2.2 Cálculo das necessidades totais de ar na mistura

Tabela 49 - Determinação da quantidade de ar a fornecer à mistura

	Unidades	Valor
w_s	kg água/kg ar seco	0,116
w_e	kg água/kg ar seco	0,0114
h_v	kcal/kg água °C	585,8
q_v/m_{as}	kcal/kg ar seco	61,0
T_s	° C	55
T_e	° C	20
h_{va}	kcal/ kg água °C	0,44
q_{va}/m_{as}	kcal/kg ar seco	1,78
h_a	kcal/ kg ar	0,24
q_a/m_{as}	kcal/kg ar °C	8,4
q_{mm}	kcal/kg mistura	710,6
Y	kg ar/kg mistura	10,0
	m^3 ar/kg mistura*	8,31
	m^3 ar/dia	314939
	m^3 ar/min	219

* Assumindo uma densidade do ar igual a $1,20 \text{ kg/m}^3$

Observando os resultados obtidos, verifica-se que é necessário introduzir $8,31 \text{ m}^3$ de ar, por cada kg de mistura nos canais, o que corresponde a 219 m^3 de ar por minuto.

8.6 Estimativa Orçamental

A fim de se obter uma estimativa orçamental do investimento associado à solução estudada para o transporte e destino final das lamas da ETAR de Sobreiras e da ETAR do Freixo, foi efectuada uma análise económica ao investimento necessário para todo o processo de bombagem e transporte das lamas da ETAR de Sobreiras, alterações necessárias ao processo de tratamento de lamas na ETAR do Freixo e instalação da central de compostagem.

Os investimentos em equipamentos e mão-de-obra considerados no estudo, encontram-se pormenorizados nos anexos F, G e H.

8.6.1 Bombagem e transporte de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras

Tabela 50 - Estimativa Orçamental de Bombagem e Transporte de Lamas Diluídas da ETAR de Sobreiras

Item	Valor (€)
Estação Elevatória de Lamas Diluídas	89.650
Conduatas Elevatórias de Lamas Diluídas	958.400

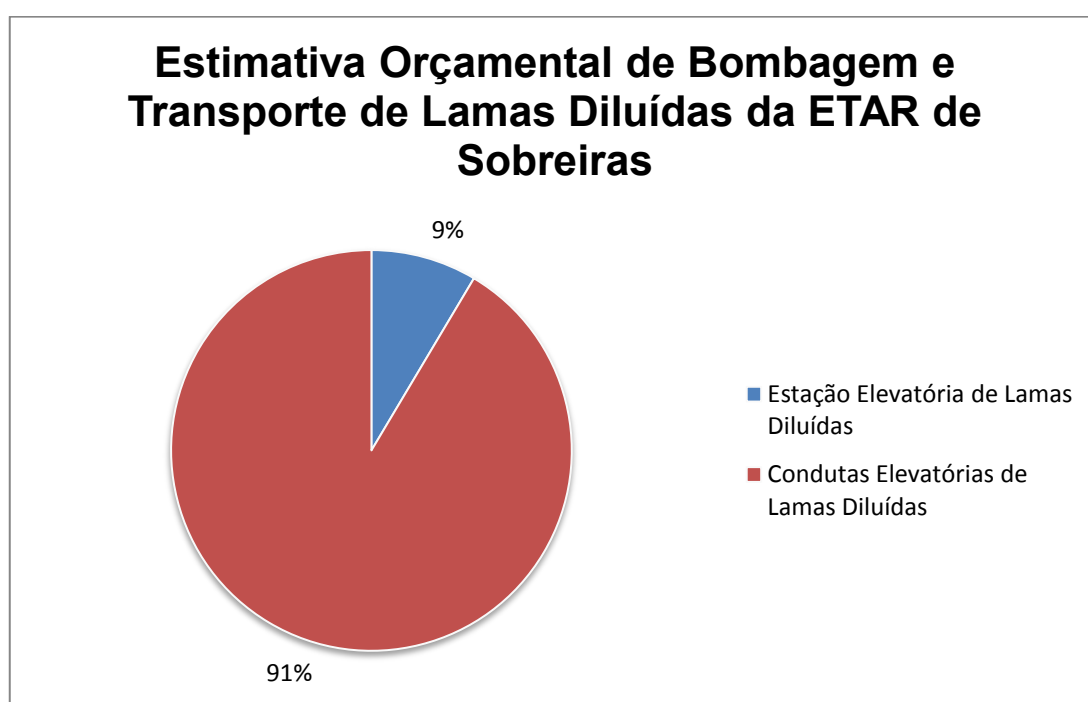


Figura 22 - Estimativa Orçamental de Bombagem e Transporte de Lamas Diluídas da ETAR de Sobreiras

A estimativa orçamental para a bombagem e transporte de lamas foi efectuada tendo em consideração os custos associados quer à instalação da estação elevatória de lamas, quer à instalação das conduatas, apresentando-se na Tabela 50 e Figura 22. Foi tido em consideração, para além dos equipamentos e materiais necessários, todo o trabalho de construção civil como a sinalização, decapagem do terreno, instalação de conduatas, restauração do pavimento, entre outros.

Através da análise dos resultados obtidos verifica-se que a parte das conduatas elevatórias representa 91% dos custos associados. Isto deve-se ao facto de haver uma elevada necessidade de materiais necessários e mão-de-obra associada ao processo de instalação das conduatas.

8.6.2 Ampliação das etapas de tratamento de lamas na ETAR do Freixo

Tabela 51 - Estimativa orçamental para a ampliação do tratamento de lamas na ETAR do Freixo

Item	Valor (€)
Construção Civil	1.019.138
Equipamentos	803.850
Instalações Eléctricas	59750
Sistemas de Segurança, Incêndio e Supervisão	282.411

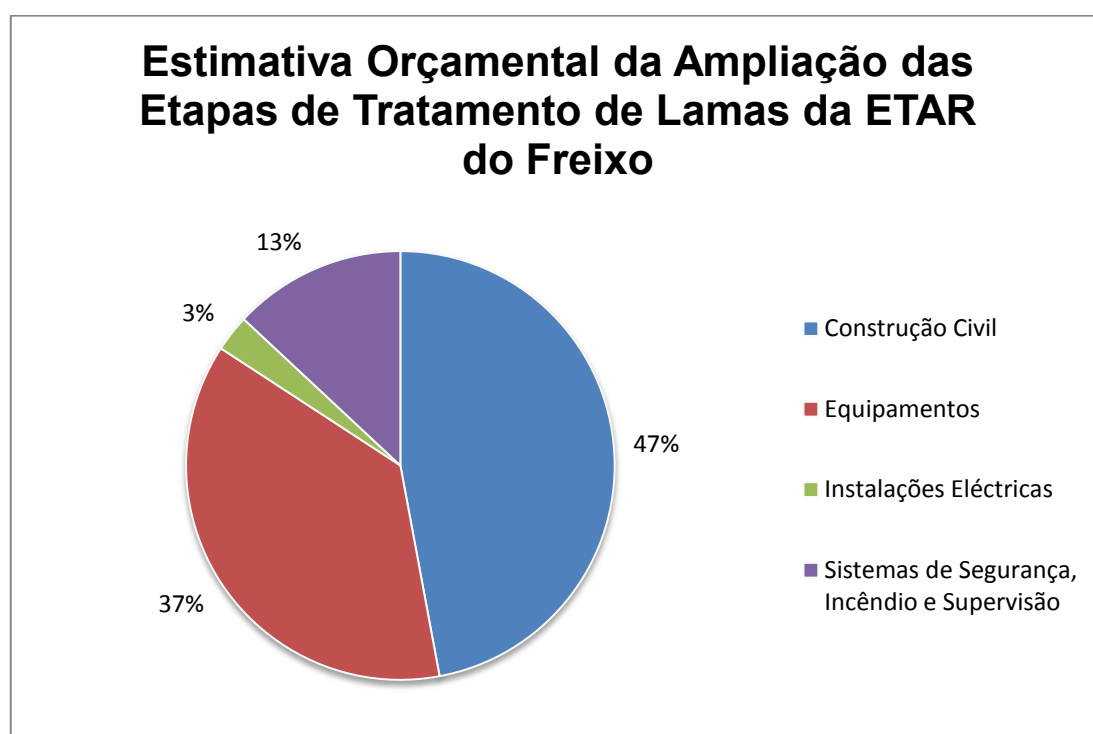


Figura 23 - Estimativa orçamental para a ampliação do tratamento de lamas na ETAR do Freixo

Analisando os resultados obtidos, Tabela 51 e Figura 23, constata-se que no que compete às alterações necessárias de efectuar na ETAR do Freixo, mais uma vez a parte da construção civil e a aquisição de equipamentos representam um incremento muito significativo ao investimento a efectuar. Enquanto que as instalações eléctricas e os sistemas de segurança e supervisão representam apenas 3 e 13% do investimento total, a construção civil e os equipamentos representam 47 e 37%, respectivamente.

Na determinação do investimento necessário foi tido em consideração os custos relacionados com a alteração de equipamentos existentes, aquisição de equipamentos novos, como bombas, condutas, silos de armazenamento, entre outros, mão-de-obra necessária para todo o processo e ainda instalações eléctricas necessárias.

8.6.3 Instalação da central de compostagem

Tabela 52 - Estimativa orçamental para a instalação da central de compostagem

Item	Valor (€)
Equipamento	1.983.000
Construção civil	639.780
Instalações eléctricas	47.000

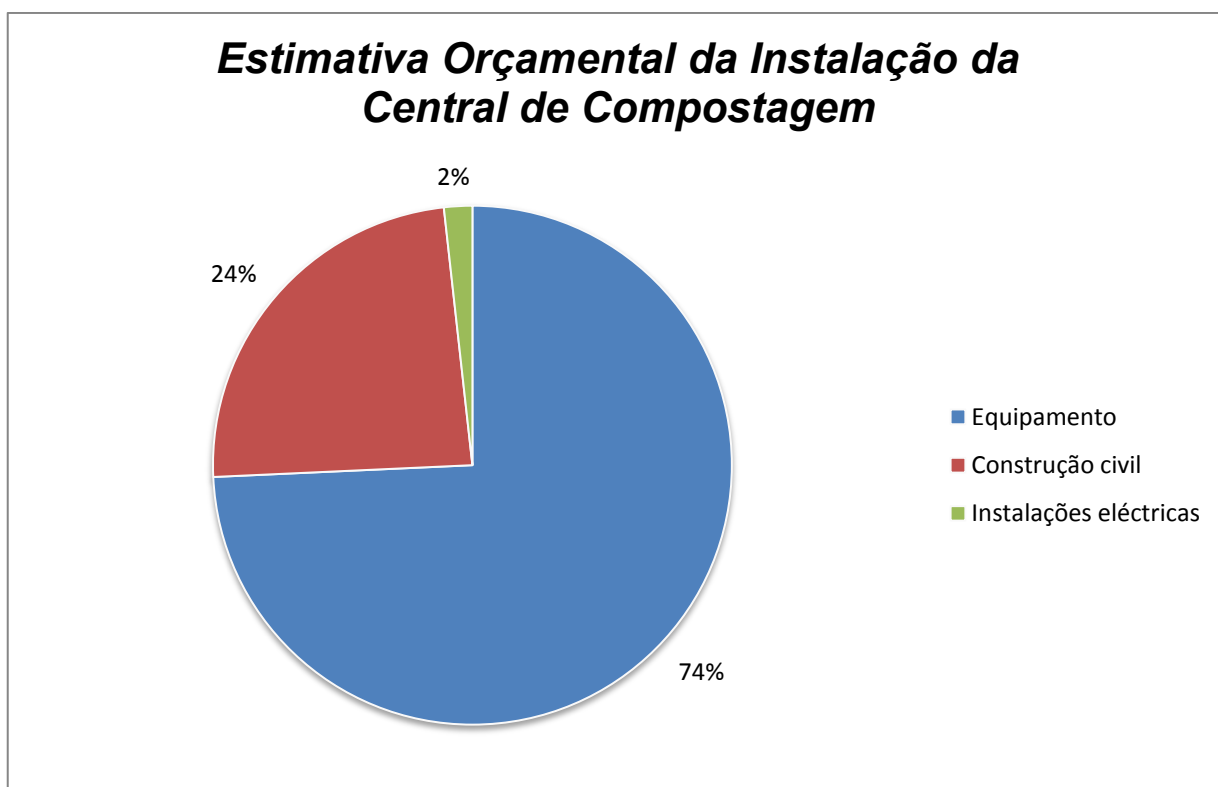


Figura 24 - Estimativa orçamental para a instalação da central de compostagem

No investimento necessário para a instalação da central de compostagem, Tabela 52 e Figura 24, a parte referente aos equipamentos é de todo significativa, representando 74 % do investimento total. Isto verifica-se devido à necessidade de adquirir todos os equipamentos necessários ao processo, enquanto que os custos relativos a equipamentos considerados no ponto anterior são bastante inferiores devido à possibilidade de aproveitar equipamentos já existentes na ETAR como por exemplo tanques de mistura e digestores. De entre os equipamentos a adquirir destacam-se os silos de armazenamento de lamas e de agente estruturante, volteador automático, ensacador, sistema de insuflação de ar, entre outros.

A construção civil é também significativamente onerosa devido à necessidade de materiais, mão-de-obra, decapagem de terrenos, fundações, construção do edifício, entre outros.

8.6.4 Estimativa orçamental total

Tabela 53 - Estimativa orçamental total

Item	Valor (€)
Bombagem e transporte de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras	1.050.000
Instalação da central de compostagem	2.669.780
Ampliação das etapas de tratamento de lamas da ETAR do Freixo	2.165.000
Total	5.884.780

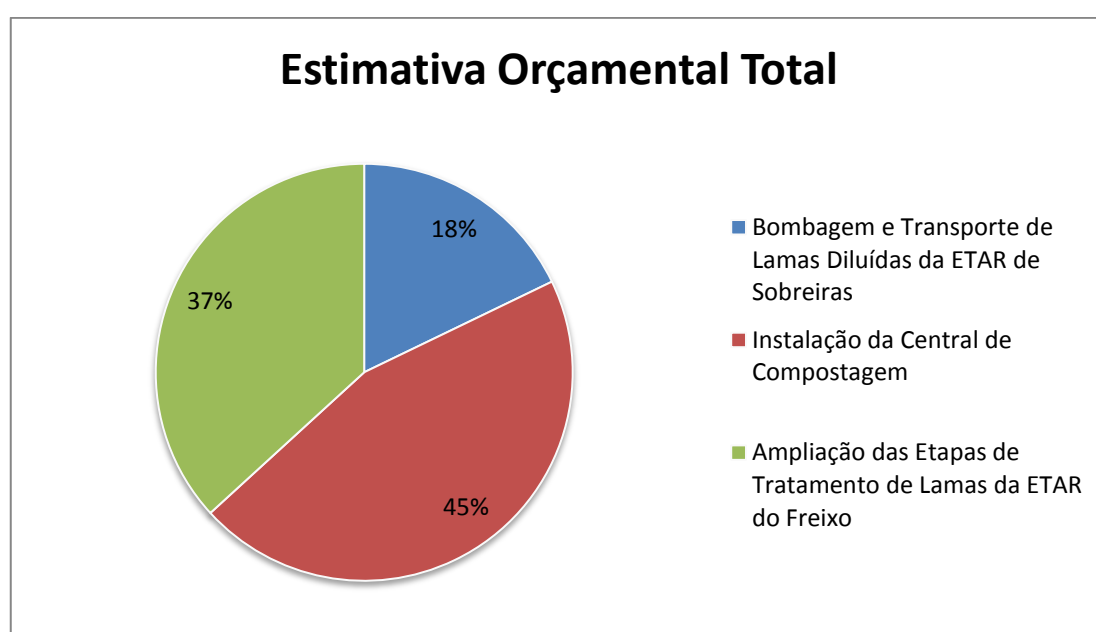


Figura 25 – Estimativa orçamental total

Tal como era previsto a instalação da central de compostagem é a fase mais onerosa do processo em análise, representando 45% do investimento total associado, equivalente a 2.669.780€. Este facto justifica-se como anteriormente referido pela elevada necessidade de aquisição de equipamentos.

As alterações necessárias na ETAR do Freixo representam 37% dos custos totais devido a toda a extensão de alterações necessárias e aquisição de equipamentos onerosos. O valor associado é de cerca de 2.165.000€.

Por último, a bombagem e transporte de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras representa apenas 18% do investimento total, representando no entanto um investimento de 1.050.000 €.

Com isto, o investimento total necessário encontra-se à volta de 5.884.780€.

Salienta-se que todos os valores apresentados constituem apenas uma estimativa aproximada do investimento necessário. Para o estudo não foram considerados custos de exploração como a aquisição do agente estruturante, consumos de energia, salários dos trabalhadores, entre outros.

Para além de todo o investimento necessário, que se demonstra muito elevado, é de referir que com a venda do composto formado, produção de biogás e com a eliminação dos gastos associados ao anterior transporte e destino final das lamas de ambas as ETARs, será possível amortizar o investimento efectuado. Contudo, seria necessário proceder a uma análise mais detalhada de todos os consumos e ganhos associados ao processo.

9. CONCLUSÕES

Com o crescimento das exigências legislativas no que compete à protecção dos recursos hídricos e saúde pública tem-se verificado um aumento significativo do atendimento de saneamento de águas residuais.

Apesar de se verificar um maior volume de águas residuais tratadas, por consequência produz-se uma maior quantidade de lamas.

Estas lamas, devido ao seu elevado perigo de contaminação de solos e recursos hídricos e devido ao facto de constituírem um potencial risco para a saúde pública, são um tema de discussão actual, na medida em que se procuram novas formas de gestão das mesmas.

Apesar de hoje em dia haver uma consciencialização sobre a importância das ETARs, existe ainda uma elevada intolerância para os odores que se fazem sentir nas imediações da estação.

Desta forma, a ETAR de Sobreiras vê-se deparada com a necessidade de diminuir estes odores. Uma possível solução, tema de estudo na presente dissertação, passa por efectuar a bombagem destas lamas até à ETAR do Freixo.

Esta solução permite por um lado anular o transporte das lamas da ETAR de Sobreiras, até então praticado, diminuindo os odores libertados, permitindo ainda uma gestão conjunta das lamas de ambas as ETAR.

No que compete à bombagem de lamas, a instalação de condutas em PEAD será adequada às exigências, visto que mostram resistência suficiente para o escoamento destas lamas. Será necessária a instalação de duas condutas de características idênticas a fim de se evitar que possíveis paragens no GEB originem a acumulação de lamas a montante.

No estudo efectuado considerou-se que apenas uma das condutas estará em funcionamento e que a outra apenas constituirá uma reserva. No entanto é necessário evitar o desgaste dos materiais, sendo possível a repartição do caudal pelas duas condutas.

Devido à elevada produção de gás verificada, será necessária a instalação de várias válvulas de libertação de gás, em que a sua localização deverá ser estudada com atenção devido à sensibilidade da zona em questão.

Será ainda necessária a instalação de um RAC, ainda que de reduzidas dimensões, a fim de se evitarem possíveis danos na integridade das condutas aquando da ocorrência de choque hidráulico.

De entre as várias formas de gestão de lamas, atendendo à legislação em vigor e à produção de lamas que se observa, a digestão anaeróbia de lamas seguida de compostagem demonstra-se como a melhor solução.

Desta forma será possível gerir as lamas provenientes das duas ETAR sem necessidades de continuar a recorrer a empresas externas para procederem ao seu transporte e destino final.

Com a digestão anaeróbia produz-se um volume de biogás razoável, na medida em que é possível utilizar o calor gerado para aquecimento dos digestores e recorrer ainda à venda da energia eléctrica produzida nos geradores.

Apesar de se necessitar de uma elevada área para instalação da central de compostagem, a quantidade de composto gerada é também elevada, prevendo-se uma entrada no mercado com uma certa facilidade.

De entre as várias técnicas de compostagem, a que mais se adequa à situação é a compostagem em canais devido à elevada qualidade de material que se obtém com um custo de investimento razoável.

Salienta-se a necessidade de proteger a central de compostagem com uma cobertura resistente, dentro de um edifício a fim de se proteger o processo de condições climáticas adversas. Existe ainda a necessidade da recolha de lixiviados, caso se observe a sua formação.

Através da estimativa orçamental realizada verifica-se que a instalação da central de compostagem de lamas é a etapa mais onerosa de todo o processo, representando 45% do investimento total necessário. A elevada necessidade de aquisição de equipamentos encontra-se na origem deste valor.

A estimativa orçamental total para o processo em estudo é de cerca de 5.884.780€.

Por fim, salienta-se que o factor tempo foi limitante para o estudo efectuado, pouco pormenorizado devido ao pouco tempo disponível para a elaboração da dissertação.

Assim salienta-se a necessidade de análises com maior detalhe, como por exemplo ao perfil longitudinal das condutas para se poder efectuar um estudo mais pormenorizado do choque hidráulico e dos pontos altos e baixos das condutas. Seria necessário proceder ao estudo da localização de válvulas de extracção de ar e de análises ao material estruturante a utilizar devido à sua interferência no sistema de compostagem e na qualidade do composto, entre outros. Seria ainda importante efectuar uma avaliação económica da exploração da central de compostagem.

10. BIBLIOGRAFIA

Antas, A e Carvalho, M (2005). *Implicações do cumprimento das directivas comunitárias na gestão de lamas de ETA e de ETAR*, obtido em Maio de 2010 em Associação Portuguesa de recursos hídricos: <http://www.aprh.pt/pdf/Almerinda%20Antas.pdf>

Azevedo, R. T. *Gestão e valorização de lamas de ETAR*, obtido em Maio de 2010 em: <http://naturaLink.sapo.pt/article.aspx?menuid=6&cid=18998&bl=1§ion=3>

Baptista, M. G. (2005). *Proposta de Norma Técnica Sobre Qualidade e Utilizações do Composto*. Portugal.

Brito, M. *Manual de Compostagem*, obtido em Maio de 2010 em: http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm

Candeias, M (2008). *Gestão de Lamas de Depuração Urbanas e de composição similar – Relatório temático*, obtido em Maio de 2010 de Inspeção-Geral do Ambiente e ordenamento do Território: <http://www.igaot.pt/wp-content/uploads/2010/02/Lamas.pdf>.

Castanheira, E, Fernandes, P, Ferreira, C. *Compostagem de lamas mistas: caso de estudo para a ETAR de Coimbra*, obtido em Abril de 2010 em: http://www.esac.pt/Jornadas/Sess%C3%A3o%204/comunicacao_lamas%20de%20ETAR.pdf

CE. (1986). *Directiva nº 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho de 1986 relativa à protecção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração*. Obtido de <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31986L0278:PT:HTML>

CE. (1999). *Directiva 1999/31/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à deposição de resíduos em aterro*.

DL_276/2009. *Decreto-Lei nº 266/2009*. 02-10-2009: Diário da República, I Série nº 192.

DL_152/2002. *Decreto-Lei nº 152/2002*. 23-05-2002: Diário da República, I Série-A.

ECN. (2009). *European Compost Network*. Obtido de <http://www.compostnetwork.info/>

EPA. (2005). *National Waste Report - Compost facilities*. Obtido em Maio de 2010, de Ireland Environmental Protection Agency: http://www.epa.ie/downloads/pubs/waste/stats/EPA_composting_2005.pdf

EPA. *Methods of Composting*, obtido em Maio de 2010 em: http://www.epa.ie/downloads/pubs/waste/stats/EPA_composting_2005.pdf

EPA. *Aerated Static Pile Composting*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/static.htm>

EPA. *Aerated (Turned) Windrow Composting*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/windrow.htm>

EPA. *In-Vessel Composting*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/vessel.htm>

Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. CRC Press.

Haug, R. T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Torrance: Lewis Publishers.

ISWA. (2001). *Sludge Treatment and Disposal - Management Approaches and Experiences*. Obtido em Maio de 2010, de European Environment Agency: <http://www.eea.europa.eu/publications/GH-10-97-106-EN-C>

Izrail S. Turovskiy. *Recent Advancements in Wastewater Sludge Composting*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.wwdmag.com/Recent-Advancements-in-Wastewater-Sludge-Composting-article3369>

Kosobuchi, P, Chmarzynski, A, Buszewski (2000). *Sewage Sludge Composting*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.pjoes.com/pdf/9.4/243-248.pdf>

Lopes, A e Medeiros, C (2005). *Município do Porto*, obtido em Abril de 2010 em: http://www.ordemengenheiros.pt/oe/ingenium/casoestudo/ing86-casoestudo_2.pdf

Marques, José (2007). *Hidráulica Urbana – Sistemas de Abastecimento de Água*. Imprensa da Universidade de Coimbra.

Martins, Rui M. P. (2006). *Valorização agrícola de lamas de ETAR – Condicionantes e Licenciamento*. Obtido em Abril de 2010 em: <http://www.cm-lousada.pt/NR/rdonlyres/F99B3FE6-4497-4DC8-A12A-B2F9E1053C26/9560/EngRuiMartinsLamasETAR.pdf>

Metcalf & Eddy, (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Mc Graw Hill.

Ministry of agriculture, f. a. (1996A). *Blending Materials for the Composting Process*. In *Composting Factsheet*. 382.500-4: British Columbia - Ministry of Agriculture, Food and Fisheries.

Ministry of agriculture, f. a. (1996B). *Composting Methods*. In *Composting Factsheet*. 382.500-5: British Columbia - Ministry of Agriculture, Food and Fisheries.

Ministry of agriculture, f. a. (1996C). *Managing Agricultural Composting Systems*. In *Composting factsheet*. 382.500-7: British Columbia - Ministry of agriculture, food and fisheries.

Monteiro, Paulo (1996). *Transporte de lamas sob pressão. A influência do processo de digestão anaeróbia.* Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Porto.

Nuvolari, A (2003). *Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.* Edgard Blucher.

Pereira, F. J. M. A. *Digestão anaeróbia de RSU: Processos, tecnologias e impactos*, obtido em Maio de 2010 em: <http://www.scribd.com/doc/25508987/Digestao-anaerobia-de-RSU-Processos-tecnologias-e-impactos>.

Pereira, Cristina. *Aplicação de lamas de ETARs em solos agrícolas e florestais.* Obtido em Maio de 2010 em: <http://natura.link.sapo.pt/article.aspx?menuid=3&cid=8987&bl=1&viewall=true>

Portal das energias renováveis: Estado em Portugal - Actualidade: Biocombustíveis gasosos, obtido em Maio de 2010 em:

http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=71&ID_area=2&ID_sub_area=3

Santos, L. M. C. (1997). *Resíduos com interesse agrícola Evolução de parâmetros da sua compostagem*, obtido em Abril de 2010 em: <http://www.ci.esapl.pt/mbrito/IPBcompostagem.pdf>

Saraiva, I. LAMAS, gestão e tratamento, obtido em Abril de 2010 em: <http://www.aeportugal.pt/Areas/AmbienteEnergia/CadernosPDF/Caderno2/lamas.pdf>

The University of Adelaide – Austrália. *An Introduction to Biogás*, obtido em Maio de 2010 de: <http://www.adelaide.edu.au/biogas/basic/>

Turovskiy, I (2006). *Wastewater sludge processing.* Wiley – Interscience

11. ANEXOS

11.1 Anexo A

Tabela 54 - Valores limite de concentração de metais pesados e microrganismos nas lamas destinadas à aplicação no solo agrícola

Elemento	Unidades (em base seca)	Legislação	
		Directiva 86/278/CE	DL 276/2009
Cádmio	mg/kg	20-40	20
Cobre	mg/kg	100-1750	1000
Níquel	mg/kg	300-400	300
Chumbo	mg/kg	150 – 1200	750
Zinco	mg/kg	2500-4000	2500
Mercúrio	mg/kg	16-25	16
Crómio	mg/kg	-	1000
E. coli	NMP /g	-	<1000
Salmonelas	/50g	-	Ausente em 50 g de material original

11.2 Anexo B

Tabela 55 - Análises laboratoriais das lamas da ETAR de Sobreiras

	Análise	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SF (mg/L)	SST (mg/L)	SDT (mg/L)	CQO (mg/L)	NTK (mgN/L)	C(mg/L)	SV/ST (%)	C(g/kg ST)	N (gN/kg ST)
Lamas biológicas	1	2906	2250	656	2665	398				77,4		
	2	2407	1784	622	2083	400				74,1		
	3	2956	2236	720	2617	530				75,6		
	4	2653	2045	608	2625	411				77,1		
	5	3510	2768	743	3252	472				78,8		
	6	2862	2165	697	2391	429				75,6		
	7	3688	2865	823	3771	462				77,7		
	Média	2997	2302	695	2772	443				77		
Lamas biológicas flotadas	1	22458	18627	3831						82,9		
	2	17867	14693	3173						82,2		
	3	27030	22786	4244						84,3		
	4	24749	20169	4580						81,5		
	5	21536	18121	3415						84,1		
	6	18728	15615	3113						83,4		
	7	24155	19868	4288						82,3		
	Média	22360	18554	3806						83		
Lamas mistas	1	13568	11230	2338			14719	826	8095	82,8	596,6	60,9
	2	17702	14709	2993			18052	875	9929	83,1	560,9	41,9
	3	12724	10202	2522			17581	790	9669	80,2	759,9	62,1
	4	12677	10630	2047			18453	1071	11615	83,8	916,2	84,5
	5	16105	13483	2623			22597	973	12428	83,7	771,7	60,4
	6	15408	12773	2635			22219	1157	12221	82,9	793,2	75,1
	7	8955	7287	1668			13649	525	7507	81,4	838,3	58,6
	Média	13877	11473	2404			18181	888	10209	83	748	63
Lamas primárias	1	13530	11402	2128						84,3		
	2	13573	11838	1736						87,2		
	3	13469	11358	2111						84,3		
	4	14090	12222	1868						86,7		
	5	16353	14213	2140						86,9		
	6	16554	14288	2266						86,3		
	7	13090	11235	1855						85,8		
	Média	14380	12365	2015						86		

11.3 Anexo C

Tabela 56 - Análises laboratoriais das lamas da ETAR do Freixo

	Análise	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SF (mg/L)	CQO (mg/L)	NTK (mgN/L)	SV/ST (%)	C (g/kg ST)	N (gN/kg ST)
Lamas primárias espessadas	1	19428	15759	3669			81,1		
	2	21402	16290	5113			76,1		
	3	15920	12920	3000			81,2		
	4	18340	14758	3583			80,5		
	5	18635	15098	3538			81,0		
	6	22478	18540	3938			82,5		
	Média	19367	15561	3807			80		
Lamas secundárias em excesso	1	8487	6887	1600			81,1		
	2	9553	7883	1670			82,5		
	3	4210	3223	988			76,5		
	4	7898	6330	1567			80,2		
	5	8645	6913	1732			80,0		
	6	3905	2975	930			76,2		
	Média	7116	5702	1415			79		
Lamas secundárias espessadas	1	47026	35979	11047			76,5		
	2	51510	42883	8628			83,3		
	3	78025	61155	16870			78,4		
	4	50553	40070	10483			79,3		
	5	67268	55425	11842			82,4		
	6	41298	33728	7570			81,7		
	Média	55946	44873	11073			80		
Lamas mistas	1	19753	16205	3547			82,0		
	2	23160	18335	4825			79,2		
	3	25835	20158	5678			78,0		
	4	15975	12615	3360			79,0		
	5	24722	15197	9525			61,5		
	6	18635	13715	4920			73,6		
	Média	21347	16038	5309			76		
Lamas digeridas	1	13684	10666	3018	18964	1019	77,9	762,2	74,4
	2	21300	16085	5215	12572	1308	75,5	324,6	61,4
	3	15395	11143	4253	15882	1351	72,4	567,4	87,8
	4	15958	12183	3775	19185	1241	76,3	661,2	77,8
	5	15943	11888	4055	24350	1313	74,6	840,1	82,3
	6	16510	12608	3903	21300	1255	76,4	709,6	76,0
	Média	16456	12393	4063	18191	1246	75	631	77

11.4 Anexo D

Dados de entrada para a simulação do choque hidráulico

Tabela 57 - Perfil arbitrado da conduta

X(m)	Z(m)
0	4
20	4,5
1000	5
3500	7
4000	5
5000	8
5500	9
7496	9
7500	13

Tabela 58 - Dados gerais de entrada para a simulação do choque hidráulico

Item	Valor
H montante (m)	4
H jusante (m)	13
Comprimento da conduta (m)	7500
Diâmetro da conduta (mm)	146,6
Rugosidade da conduta (mm)	0,05
Factor de majoração de perda de carga contínua	1,10
Coeficiente de perdas de carga localizadas	0
Coeficiente de perdas de carga localizadas no reservatório a jusante	0
Viscosidade cinemática (m ² /s)	3,96 x 10 ⁻⁶
Curva Característica do Grupo Elevatório Hb = AN ² +BNQ+CQ ² ; Hb (m); Q (m ³ /s)	
No(rpm)	900
A	1,21284 x 10 ⁻⁴
B	0
C	-96539,9
Curva de rendimento do grupo elevatório: rend (%) =aa*Q ³ +bb*Q ² +cc*Q+dd; Q:m ³ /s	
aa	5 x 10 ⁶
bb	-419205
cc	10369
dd	4,0945
Inércia do grupo elevatório (N/m ²)	20
Celeridade (m/s)	265,5

Tabela 59 - Dados de entrada inerentes ao RAC para a simulação do choque hidráulico

Item	Unidades	Valor
Diâmetro	m	0,5
Z0	m	5
Z máx	m	5,15
Z min RAC	m	4,15
Alfa (expoente da lei de estado do ar no RAC)		1,1
Beta (expoente da lei de vazão da fuga)		0,5
Diâmetro de ligação	mm	75
Diâmetro do tubo	mm	750
Comprimento do tubo de ligação	m	1
Rugosidade do tubo de ligação	mm	0,05
Coeficiente de perdas de carga localizadas no tubo de ligação (sem tubeira)		0

11.5 Anexo E

Resultados obtidos na simulação do choque hidráulico

Tabela 60 - Ponto de funcionamento da instalação elevatória

Item	Unidades	Valor
Caudal elevado	l/s	15,95
Altura manométrica do grupo elevatório	m	73,68
Velocidade média na conduta	m/s	0,971
Perda de carga unitária na conduta	m/km	7,84

Tabela 61 - Comportamento do reservatório de ar comprimido

Item	Unidades	Valor
Volume máximo de ar	m ³	0,15
Volume máximo de ar	%	76,23
Instante em que ocorre o volume máximo de ar	s	84,18
Nível mínimo de água	m	4,39
Instante em que ocorre o nível mínimo de água	s	84,18
Volume mínimo de ar	m ³	0,03
Volume mínimo de ar	%	15
Instante em que ocorre o volume mínimo de ar	s	0
Nível de água máximo	m	5
Instante em que ocorre o nível máximo de água	s	0,565

Tabela 62 - Envolventes da Carga Hidráulica e de Pressão para a simulação sem RAC

X (m)	Z (m)	Ho (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	Pmáx (m)	Pmin (m)	X (m)	Z (m)	Ho (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	Pmáx (m)	Pmin (m)
0	4	77.680	77.680	3.941	73.680	-0,059	3900	5,4	44.046	44.046	6.229	38.646	0,829
150	4,6	76.386	76.386	3.628	71.820	-0,938	4050	5,2	42.753	42.753	6.415	37.603	1.265
300	4,6	75.093	75.093	3.354	70.450	-1.289	4200	5,6	41.459	41.459	6.610	35.859	1.010
450	4,7	73.799	73.799	3.714	69.080	-1.006	4350	6	40.166	40.166	6.816	34.116	0,766
600	4,8	72.506	72.506	4.074	67.710	-0,722	4500	6,5	38.872	38.872	7.032	32.372	0,532
750	4,9	71.212	71.212	4.434	66.340	-0,438	4650	7	37.578	37.578	7.258	30.628	0,308
900	4,9	69.918	69.918	4.794	64.969	-0,155	4800	7,4	36.285	36.285	7.494	28.885	0,094
1050	5	68.625	68.625	4.789	63.585	-0,251	4950	7,8	34.991	34.991	7.738	27.141	-0,112
1200	5,2	67.331	67.331	4.761	62.171	-0,399	5100	8,2	33.698	33.698	7.993	25.498	-0,207
1350	5,3	66.038	66.038	4.746	60.758	-0,534	5250	8,5	32.404	32.404	8.256	23.904	-0,244
1500	5,4	64.744	64.744	4.742	59.344	-0,658	5400	8,8	31.110	31.110	8.528	22.310	-0,272
1650	5,5	63.450	63.450	4.750	57.930	-0,77	5550	9	29.817	29.817	8.808	20.817	-0,192
1800	5,6	62.157	62.157	4.769	56.517	-0,871	5700	9	28.523	28.523	9.096	19.523	0,096
1950	5,8	60.863	60.863	4.801	55.103	-0,959	5850	9	27.230	27.230	9.392	18.230	0,392
2100	5,9	59.570	59.570	4.843	53.690	-1.037	6000	9	25.936	25.936	9.696	16.936	0,696
2250	6	58.276	58.276	4.897	52.276	-1.103	6150	9	24.642	24.642	10.007	15.642	1.007
2400	6,1	56.982	56.982	4.963	50.862	-1.157	6300	9	23.349	23.349	10.324	14.349	1.324
2550	6,2	55.689	55.689	5.040	49.449	-1.200	6450	9	22.055	22.055	10.647	13.055	1.647
2700	6,4	54.395	54.395	5.128	48.035	-1.232	6600	9	20.762	20.762	10.939	11.762	1.939
2850	6,5	53.102	53.102	5.228	46.622	-1.252	6750	9	19.468	19.468	10.654	10.468	1.654
3000	6,6	51.808	51.808	5.338	45.208	-1.262	6900	9	18.174	18.174	10.333	9.174	1.333
3150	6,7	50.514	50.514	5.459	43.794	-1.261	7050	9	16.881	16.881	9.973	7.881	0,973
3300	6,8	49.221	49.221	5.592	42.381	-1.248	7200	9	15.587	15.587	9.575	6.587	0,575
3450	7	47.927	47.927	5.735	40.967	-1.225	7350	9	14.294	14.294	9.137	5.294	0,137
3600	6,6	46.634	46.634	5.889	40.034	-0,711	7500	13	13.000	13.000	13.000	0	0
3750	6	45.340	45.340	6.054	39.340	0,054							

Tabela 63 - Envolventes da Carga Hidráulica e de Pressão para a simulação com RAC

X (m)	Z (m)	Ho (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	Pmáx (m)	Pmin (m)	X (m)	Z (m)	Ho (m)	Hmáx (m)	Hmin (m)	Pmáx (m)	Pmin (m)
0	4	77.680	77.680	6.374	73.680	2.374	3900	5,4	44.046	44.046	9.513	38.646	4.113
150	4,6	76.386	76.386	7.729	71.820	3.163	4050	5,2	42.753	42.753	9.693	37.603	4.543
300	4,6	75.093	75.093	7.623	70.450	2.980	4200	5,6	41.459	41.459	9.666	35.859	4.066
450	4,7	73.799	73.799	7.842	69.080	3.122	4350	6	40.166	40.166	9.877	34.116	3.827
600	4,8	72.506	72.506	7.750	67.710	2.954	4500	6,5	38.872	38.872	9.839	32.372	3.339
750	4,9	71.212	71.212	7.968	66.340	3.095	4650	7	37.578	37.578	10.057	30.628	3.107
900	4,9	69.918	69.918	7.899	64.969	2.950	4800	7,4	36.285	36.285	10.028	28.885	2.628
1050	5	68.625	68.625	8.077	63.585	3.037	4950	7,8	34.991	34.991	10.240	27.141	2.390
1200	5,2	67.331	67.331	8.050	62.171	2.890	5100	8,2	33.698	33.698	10.227	25.498	2.027
1350	5,3	66.038	66.038	8.196	60.758	2.916	5250	8,5	32.404	32.404	10.420	23.904	1.920
1500	5,4	64.744	64.744	8.218	59.344	2.818	5400	8,8	31.110	31.110	10.434	22.310	1.634
1650	5,5	63.450	63.450	8.328	57.930	2.808	5550	9	29.817	29.817	10.608	20.817	1.608
1800	5,6	62.157	62.157	8.395	56.517	2.755	5700	9	28.523	28.523	10.645	19.523	1.645
1950	5,8	60.863	60.863	8.462	55.103	2.702	5850	9	27.230	27.230	10.803	18.230	1.803
2100	5,9	59.570	59.570	8.578	53.690	2.698	6000	9	25.936	25.936	10.855	16.936	1.855
2250	6	58.276	58.276	8.615	52.276	2.615	6150	9	24.642	24.642	11.000	15.642	2.000
2400	6,1	56.982	56.982	8.771	50.862	2.651	6300	9	23.349	23.349	11.063	14.349	2.063
2550	6,2	55.689	55.689	8.770	49.449	2.530	6450	9	22.055	22.055	11.198	13.055	2.198
2700	6,4	54.395	54.395	8.972	48.035	2.612	6600	9	20.762	20.762	11.265	11.762	2.265
2850	6,5	53.102	53.102	8.941	46.622	2.461	6750	9	19.468	19.468	11.166	10.468	2.166
3000	6,6	51.808	51.808	9.125	45.208	2.525	6900	9	18.174	18.174	11.399	9.174	2.399
3150	6,7	50.514	50.514	9.125	43.794	2.405	7050	9	16.881	16.881	10.354	7.881	1.354
3300	6,8	49.221	49.221	9.232	42.381	2.392	7200	9	15.587	15.587	11.223	6.587	2.223
3450	7	47.927	47.927	9.311	40.967	2.351	7350	9	14.294	14.467	10.103	5.467	1.103
3600	6,6	46.634	46.634	9.363	40.034	2.763	7500	13	13.000	13.000	13.000	0	0
3750	6	45.340	45.340	9.498	39.340	3.498							

11.6 Anexo F

Estimativa orçamental da ampliação das etapas de tratamento de lamas da ETAR do Freixo

Tabela 64 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
1.	Construção Civil				
1.1	Recepção de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras				
1.1.1	Alteração do tanque existente de tratamento de gorduras, incluindo reparação e revestimento das superfícies	vg	1	7.500	7.500
1.2	Digestão anaeróbia				
1.2.1	Escavação de terra branda com profundidade de 6 m para construção de novos digestores, incluindo transporte e destino final de produtos	m ³	7.500	2,5	18.750
1.2.2	Novo digestor anaeróbio, em betão armado com cobertura estanque, diâmetro de 20 m e altura útil de 15 m, incluindo escada de acesso à cobertura	vg	2	450.000	900.000
1.2.3	Plataforma para instalação de gasómetro com diâmetro de 9 m e altura de 30 cm	m ³	19	450	8.588
1.3	Desidratação de lamas				
1.3.1	Decapagem de terreno com remoção de terra vegetal e escavação para fundação, incluindo transporte e destino final de produtos	m ²	200	9	1.800
1.3.2	Construção de edifício de desidratação de lamas com dimensões de 15 x 10 x 4 m (C x L x A), em betão armado com cobertura	vg	1	52.500	52.500
1.3.3	Restauração de pavimentos, jardim, entre outros	vg	1	30.000	30.000

Tabela 65 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
2.	Equipamentos				
2.1	Recepção de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras				
2.1.1	Bomba de transferência de lamas diluídas, tipo submersível, caudal unitário de 25 m ³ /h e altura de elevação de 8 m	und	4	2.500	10.000
2.1.2	Agitador submersível, do tipo com eixo horizontal, caudal de agitação de 1000 m ³ /h, motor de 4,5 kW a 600 rpm, incluindo guia de montagem e guincho de elevação em AISI 304	und	1	2.650	2.650
2.1.3	Válvula de seccionamento do tipo cunha elástica de DN 100, PN10	und	8	450	3.600
2.1.4	Válvula de retenção do tipo com bola, DN 100, PN11	und	4	350	1.400
2.1.5	Medidor de caudal, tipo electromagnético para secção cheia, DN 80, com indicador de caudal instantâneo e volume totalizado para instalação remota, sinal de saída de 4-20 mA	und	3	3.200	9.600
2.1.6	Detector de nível, tipo de pressão hidrostática, nível máximo de 5 m, sinal de saída de 4-20 mA	und	1	1.200	1.200
2.2	Espessamento de lamas por centrífugas				
2.2.1	Modificação das 2 centrífugas existentes de desidratação para espessamento	vg	1	24.500	24.500
2.2.2	Conduta colectora de lamas espessadas em AISI 304 de DN 200, incluindo 2 entrada de DN 100 com válvula de seccionamento do tipo borboleta	vg	1	6.500	6.500
2.2.3	Bomba doseadora de solução de polímero, tipo parafuso sem fim equipada com variador mecânico de velocidade, caudal máximo de 5 m ³ /h, pressão de 4 bar	und.	3	4.500	13.500

Tabela 66 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
2.3	Digestão anaeróbia				
2.3.1	Triturador mecânico em linha, com passagem de 10 mm, ligação de DN 100, caudal máximo de 40 m ³ /h	und.	2	5.500	11.000
2.3.2	Bomba de elevação de lamas espessadas, do tipo parafuso sem fim com caudal máximo unitário de 35 m ³ /h e pressão de 4 bar, equipada com detector de temperatura	und.	3	7.500	22.500
2.3.3	Conduto elevatória individual de lamas espessadas a digerir em AISI 304, DN 200, incluindo uma válvula de seccionamento do tipo cunha com actuação manual	vg.	2	12.500	25.000
2.3.4	Conjunto de recolha e segurança para biogás, incluindo válvula de segurança, corte de chama, válvula de seccionamento do tipo membrana	vg.	2	16.000	32.000
2.3.5	Tubagem para agitação de lamas por biogás comprimido, incluindo válvula de seccionamento	vg.	2	4.500	9.000
2.3.6	Bomba de recirculação para aquecimento de lamas, tipo parafuso sem fim com capacidade de 50 m ³ /h e pressão de 4 bar, incluindo detector de temperatura	und.	3	6.800	20.400
2.3.7	Permutador térmico, do tipo espiral com capacidade de 50000 kcal/h	und.	2	8.500	17.000
2.3.8	Bomba de água quente do tipo centrífuga para montagem em linha, caudal de 50 m ³ /h, temperatura máxima de 90 °C	und.	3	750	2.250
2.3.9	Gasómetro do tipo membrana dupla com capacidade de 1767 m ³ , incluindo soprador e detector ultrassónico de nível	und.	1	65.000	65.000
2.3.10	Cogerador com capacidade de 300 kVA, incluindo recuperação de calor e cabine de insonorização	und.	1	125.000	125.000

Tabela 67 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
2.4	Desidratação de lamas				
2.4.1	Bomba de elevação de lamas digeridas, tipo parafuso sem fim, caudal máximo de 25 m ³ /h, equipada com variador de velocidade e detector de temperatura	und.	4	12.500	50.000
2.4.2	Conduta elevatória de lamas digeridas, em AISI 304 de DN 100, incluindo 2 válvulas de seccionamento to tipo cunha	vg.	3	5.500	16.500
2.4.3	Centrífuga de desidratação de lamas do tipo decantador, capacidade hidráulica máxima de 30 m ³ /h, incluindo quadro de comando e assistência técnica	vg.	3	75.000	225.000
2.4.4	Unidade de preparação e armazenamento de solução de polímero em 3 compartimentos, com capacidade de armazenamento de 1000 L, incluindo alimentador automático de pó com parafuso doseador, dispersador, agitadores mecânicos, controlo automático de nível	vg.	2	21.000	42.000
2.4.5	Transportador horizontal de lamas desidratadas, tipo parafuso sem fim, em AISI 304 com largura de 350 mm, velocidade de 0,5 m/s, comprimento de 8 m	und.	1	4.250	4.250
2.4.6	Bomba de elevação de lamas desidratadas, tipo parafuso sem fim, caudal de 8 m ³ /h, pressão máxima de 6 bar	und.	2	8.500	17.000
2.4.7	Conduta elevatória de lamas desidratadas, em AISI 304 de DN 200, incluindo 1 válvula de seccionamento do tipo guilhotino, uma entrada de solução de polímero e uma entrada de água de lavagem sob pressão, para uma altura de elevação de 10 m	vg.	1	13.000	13.000
2.4.8	Silo de armazenamento de lamas, com capacidade útil de 80 m ³ , em chapa de aço macio com protecção contra corrosão, diâmetro de 4200 mm e altura útil de 6000 mm, equipado com fundo cónico a 50° e uma saída de DN 50 com uma válvula de guilhotino com actuação eléctrica, incluindo suporte em perfis de aço	vg.	1	24.000	24.000
2.4.9	Instalações sanitárias e equipamentos de escritórios e de zona social do edifício	vg.	1	10.000	10.000

Tabela 68 - Estimativa orçamental inerente a alterações na ETAR do Freixo (continuação)

Item	Descrição	Unidades	Quantidade	Preço Unitário	Valor (€)
3.	Instalações Eléctricas				
3.1	Recepção de lamas diluídas da ETAR de Sobreiras				
3.1.1	Quadro eléctrico de comando para as bombas de elevação e o agitador de lamas diluídas a espessar	vg	1	3.500	3.500
3.1.2	Cablagem para alimentação e sinal de controlo dos equipamentos electromecânicos e instrumentos	vg	1	1.500	1.500
3.2	Espessamento de lamas por centrífugas				
3.2.1	Quadro eléctrico de comando para as bombas de lamas espessadas a digerir	vg	1	4500	4.500
3.2.2	Modificação do quadro existente	vg	1	500	500
3.2.3	Cablagem para alimentação e sinal de controlo dos equipamentos electromecânicos e instrumentos	vg	1	750	750
3.3	Digestão anaeróbia				
3.3.1	Quadro eléctrico de comando para as bombas de recirculação de lamas em digestão, bombas de lamas digeridas e bombas de água quente	vg	1	4500	4.500
3.3.2	Quadro eléctrico de comando para o cogerador, incluindo integração com o gerador existente	vg	1	15.000	15.000
3.3.3	Cablagem para alimentação e sinal de controlo dos equipamentos electromecânicos e instrumentos	vg	2	5.500	11.000
3.4	Desidratação de lamas				
3.4.1	Quadro eléctrico geral para edifício de desidratação de lamas	vg	1	6.000	6.000
3.4.2	Quadro eléctrico de comando para as unidades de polímero, bombas doseadoras de polímero, parafuso transportador e bomba de elevação de lamas digeridas	vg	1	5.500	5.500
3.4.3	Cablagem para alimentação e sinal de controlo dos equipamentos electromecânicos e instrumentos	vg	1	7.000	7.000
4.	Diversos (sistemas de segurança, incêndio, supervisão)				282.411
				Arredondamento	-149
	Custo total necessário para as alterações à ETAR				2.165.000

11.7 Anexo G

Estimativa orçamental da bombagem e transporte das lamas diluídas da ETAR de Sobreiras

Tabela 69 - Estimativa orçamental inerente a bombagem e transporte de lamas

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
1.	Estação Elevatória de Lamas Diluídas				
1.1	Verificação e recuperação dos trituradores existentes	vg	1	7.500	7.500
1.2	Bomba de elevação de lamas diluídas, tipo parafuso sem fim equipada com variador de frequência para caudal máximo de 40 m ³ /h e pressão de 10 bar	vg	3	16.500	49.500
1.3	Medidor de caudal tipo electromagnético para secção cheia de DN 80	und.	2	3.200	6.400
1.4	Tubagem individual de aspiração em AISI 304, de DN 100, incluindo 2 válvulas de seccionamento do tipo cunha e 2 válvulas de retenção	vg	3	3.500	10.500
1.5	Tubagem para admissão de água de lavagem em AISI 304, DN 75, incluindo uma válvula de seccionamento do tipo borboleta com actuação automática pneumática	vg	1	750	750
1.6	Quadro eléctrico de comando para as novas bombas e modificação do sistema existente de supervisão	vg	1	15.000	15.000
2.	Condutas Elevatórias de Lamas Diluídas				
2.1	Escavação de vale com 1 m de largura e 1,5 m de profundidade	m3	6.000	20	120.000
2.2	Trabalho auxiliar de apoio (sinalização, passagens provisórias)	vg	1	65.000	65.000
2.3	2 condutas elevatórias em PEAD de DN 160 PN 12, incluindo acessórios	m	15.000	24	360.000
2.4	Válvula de seccionamento do tipo cunha elástica de DN 160	und.	30	550	16.500
2.5	Detector de pressão tipo sensor para montagem em linha com sinal de saída de 4-20 mA	und.	10	750	7.500
2.6	Válvula de ventosa DN 50	und.	6	650	3.900
2.7	Válvula de purga de DN 65	und.	30	350	10.500
2.8	Caixa de visita com dimensões de 1,5 x 2,0 x 1,5 m, em betão armado incluindo tampas amovíveis em ferro fundido dúctil	und.	15	8.500	127.500
2.9	Restauração do pavimento	m2	7.500	25	187.500
2.10	Sistema de comunicação em cabo de fibra óptica	m	7.500	8	60.000
			Arredondamento		1.950
	Custo total para bombagem e transporte de lamas				1.050.000

11.8 Anexo H

Estimativa orçamental da construção da central de compostagem

Tabela 70 - Estimativa orçamental inerente a construção da central de compostagem

Item	Designação	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
1.	Equipamento				
1.1	Volteador Automático		4	390.000	1.560.000
1.2	Soprador para arejamento com caudal de 75m ³ /min a 200 mbar, motor de 40 kW a 1500 rpm		3	22.000	66.000
1.3	Ventilador para climatização, tipo centrífuga, com caudal de 15000 m ³ /h e motor de 12 kW		2	10.000	20.000
1.4	Crivador para dimensões de 5, 10 e 15 mm		1	95.000	95.000
1.5	Ensacador para embalagem de 5, 20 e 50 L		1	30.000	30.000
1.6	Pá carregadora		1	95.000	95.000
1.7	Silos de lamas desidratadas, em chapa de aço macio com protecção anti corrosão, com capacidade de 42 m ³ , diâmetro 3000 mm e altura útil 6000, fundo cónico incluindo uma comporta de descarga com actuação eléctrica, suporte em perfis de aço		1	12.000	12.000
1.8	Silos de agente estruturante, em chapa de aço macio com protecção anti corrosão, com capacidade 24 m ³ , dimensões de planta 3000 x 3000 mm, fundo piramidal, altura total de 4000 mm, com tampa, equipado com comporta e manga de descarga		7	15.000	105.000

Tabela 71 - Estimativa orçamental inerente a construção da central de compostagem

Item	Descrição	Unidades	Quantidade	Preço unitário	Valor (€)
2.	Construção civil				
2.1	Trabalho preparatório: decapagem de terra e escavação, incluindo transporte e destino final do produto	m ²	7500	2	15.000
2.2	Fundações e pavimento,	m ³	2200	150	330.000
2.3	Colunas em betão armado de 40 x 40 cm e altura 6 m		38	260	9.880
2.4	Painéis sandwich em chapa de aço lacado, enchimento de 40 mm de espessura	m ²	10360	15	155.400
2.5	Arruamento em asfalto com 5 m de largura incluindo lancil	m ²	1500	70	105.000
2.6	Rede de drenagem de águas pluviais incluindo caixas de visitas e tubo em PVC de DN 300	vg	1	14.500	14.500
2.7	Rede de águas de serviço com tubo de PVC de f 65, PN 10, incluindo 10 torneiras de 1/2 "	vg	1	3.000	3.000
2.8	Rede de rega de zona verde	vg	1	7.000	7.000
3.	Instalações eléctricas				
3.1	Quadro eléctrico de potência	vg	1	10.000	10.000
3.2	Quadro eléctrico de comando	vg	1	7.000	7.000
3.3	Cablagem de distribuição de tensão	vg	1	4.000	4.000
3.4	Iluminação interior de zona de laboração	vg	1	15.000	15.000
3.5	Iluminação interior de zona administrativa	vg	1	3.000	3.000
3.6	Iluminação exterior incluindo caixas e cabo de distribuição e terra	vg	1	8.000	8.000
	Investimento total em instalações eléctricas				47.000
	Investimento total no processo de compostagem				2.669.780