



Hinc patriam sustinet

**Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa**



**ANÁLISE QUALITATIVA DE LAMAS DE ETAR E
COMPETITIVIDADE ECONÓMICA DOS PROCESSOS
DE TRATAMENTO E ESCOAMENTO:
Caso da ETAR da Guia**

Valeriu Berco

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente –Tecnologias Ambientais**

Orientador: Professor Doutor Francisco Ramos Lopes Gomes da Silva

Co-Orientador: Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Co-Orientador: Eng.º João Manuel Belo Marçal dos Santos e Silva

Júri:

Presidente: Doutor Ernesto José de Melo Pestana de Vasconcelos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais: Doutora Elizabeth Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Francisco Ramos Lopes Gomes da Silva, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Doutora Rita do Amaral Fragoso, Professora Auxiliar Convidada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa

Lisboa, 2013

*Ao meu Pai e Irmão
(in memoriam)*

O presente trabalho está redigido segundo a grafia do português pré-acordo ortográfico

Agradecimentos

Ao culminar desta temporada lectiva e marcando o esforço multilateral afincado na realização do presente trabalho, gostaria de começar por expressar a enorme gratidão pela ajuda e apoio que me foram concedidos ao longo deste trajecto académico pelo conjunto de professores e colaboradores de vários departamentos do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Aos membros do Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas do ISA em geral.

Ao Professor Doutor Francisco Gomes da Silva, meu Orientador, por ter-me aceite como discente e pelo acompanhamento sistémico, produtor e evolutivo ao longo da elaboração da tese.

À Professora Doutora Elizabeth de Almeida Duarte, por ter delineado as directrizes do desenvolvimento do presente trabalho, mantendo em simultâneo uma constante preocupação pelo êxito do projecto e demonstrando a disponibilidade permanente e incondicional para qualquer tipo de apoio. Pelo vasto conhecimento e enorme vontade de partilhá-lo, pelo profissionalismo e rigor, pela colegialidade e bom senso.

Ao Professor Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, como Co-Orientador, pelo inestimável apoio prestado em todos os momentos do desenvolvimento do trabalho e pelo enorme leque de ideias e experiências, que me transmitiu ao longo desta colaboração.

Ao Eng.^o Domingos Figueiredo, pelo empenho e boa vontade no auxílio das tarefas para determinações analíticas e ensaios laboratoriais.

Gostaria ainda de expressar os meus mais sentidos agradecimentos aos dirigentes e colaboradores da SANEST, Empresa responsável pelo Sistema de Saneamento da Costa do Estoril, Grupo Águas de Portugal.

Em especial, ao Eng.^o João Santos Silva, Director de Operação e Manutenção da SANEST/ETAR da Guia e um dos Co-orientadores desse Projecto, pela autorização do presente estudo, possibilitando a concretização desta oportunidade, bem como por todo o apoio oferecido na análise dos aspectos técnicos e organizacionais da actividade e funcionamento daquele que é meritoriamente considerado um dos “Empreendimentos Ambientais Notáveis” de Portugal sendo também um exemplo do êxito da engenharia moderna nacional, a ETAR da Guia.

À Eng.^a Catarina de Carvalho Lopes, membro da Direcção de Operação e Manutenção da SANEST ETAR da Guia, por inestimável assistência técnica e humana, prestada durante a evolução do projecto, bem como pelo incansável espírito colaborador e simpatia na disponibilização das informações e dados solicitados. Aos funcionários da ETAR da Guia que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização desse estudo.

Aos meus colegas deste Mestrado do ISA, pelo companheirismo, cumplicidade e amizade.

À minha Família, pelo apoio constante e absoluto, que se fez sentir durante todo o meu percurso académico.

Resumo

O levantamento e estudo dos parâmetros mensuráveis da operação na ETAR da Guia, com enfoque sobre os processos de tratamento de lamas, geraram a base para uma posterior idealização de um modelo sustentável de gestão do escoamento de lamas residuais, conjugando soluções económico-financeiras viáveis e constituindo, propriamente, o objecto desta tese.

De acordo com os valores representativos da eficiência operacional de tratamento, foram elaboradas opções alternativas para a valorização e/ou eliminação das lamas residuais.

Trata-se de uma perspectiva de optimização da fase final do processo de gestão de lamas, consoante as possibilidades das técnicas de tratamento actualmente reconhecidas*, porém, em contexto das particularidades da exploração das instalações em análise.

Não obstante, a metodologia utilizada, que incluiu uma extensiva revisão da literatura, visitas técnicas às instalações e análise de dados estatísticos disponíveis, permitiu a realização de um rastreio sistémico sobre os indicadores quantitativos e qualitativos das lamas geradas, bem como a simulação de alguns cenários alternativos de escoamento, culminando numa projecção de estimativa dos custos associados, expressa através duma hierarquização das opções recomendadas, segundo os critérios de desempenho técnico/económico de cada uma, cumprindo contudo, os requisitos legais e adequando-se a capacidade de operação, instalada na ETAR da Guia.

Palavras-Chave: Lamas Residuais Urbanas, Co-combustão, Valorização Agronómica, Recuperação Energética, Sustentabilidade, Escoamento

* digestão anaeróbia, estabilização (química com cal), compostagem de lamas, secagem térmica e eliminação por incineração

Abstract

The purpose of this project was to conduct a survey for the established measurable parameters of Guia WWTP's operations, focusing on the sludge treatment process and analyse the sewage sludge management and recycling model, aiming to an idealized sustainable one based upon viable economical and financial solutions.

According to values contained in the most representative operational efficiency of sludge treatment and production parameters, alternative options to the currently used disposal site by the Guia WWTP for the disposal sewage sludge were presented and debated.

Moreover, it is considered a perspective of optimization, namely, for the waste management process final phase (purified sludge), according to the possibility of the implementation of the treatment techniques presently recognized and efficiently applied, though, considering sizing and exploitation particularities of the concerning facilities.

However, the used methodology including an extensive literature review, allowed a systemic qualitative screening of the produced sewage sludge at the WWTP, technical searching and relevant statistical data analysis allowed the systemic trace/pursue of the quantitative and qualitative markers on the generated sludge.

The associated costs projected estimation culminated in an option ranking according to each technical-economical performance criteria, abiding to the legal requirements and suitable to the WWTP's installed operating capacity.

Key words: Urban Sewage Sludge, Co-combustion, Energetic Recovery, Sustainability, Disposal, Agronomic Value.

Extended Abstract

The optimization of the management model of the sludge originated in the waste water treatment represents one of the greatest/most important concerns of the WWTP.

The project has as a goal the determination of the type of treatment used at the Guia WWTP, focusing on the produced sludge layout, outlining and describing/distinguishing the qualitative and quantitative parameters of the operation and the produced residue in order to identify and recommend optimizing solutions for its draining (urban waste sludge) and arguing in favor of the most economically and financially sustainable one (solution).

The information obtained in the study period from 2010 to 2011, with the help of the Guia WWTP management, complemented with technical visits to the operation sites, allowed to conduct this analysis.

Throughout this paper, the breakdown of a vast spectrum of solutions led to a set of drainage alternatives of the generated residue, nonetheless abiding by the integrated management criteria of the WWTP sludge.

The considered theoretical premises have in sight the agronomic valuation of the sludge, since Portugal is a country with mainly acid and poor in organic matter soils. Therefore, a fix involving sludge treatment with alkaline stabilization would be of a great benefit for the biosolid application in the soil as a nutrient source, organic corrective, and also as an efficient mean of stabilizing the soils' pH.

The strong tendencies that define the current development strategies, outlined and promoted by the European Commission, are in favor of the energetic recovery of a great share of the biomass and WWTP sludge and consider it as a RDF – “Refuse Derived Fuel, beholding the environmental issues, namely: the decreased use of fossil fuels, diminishing emissions of the greenhouse gases, free carbon fixation and other associated beneficial effects.

There were benchmarked for this particular case study, the alternatives for the agronomic valuation, by attaining a class A biosolid (US EPA) through alkaline stabilization (quick lime), and closed container pasteurization of the sludge.

Another considered solution is the energetic valuation of the waste water sludge with the digested and dehydrated sludge being thermally dried resulting in a significative reduction of the moist content (up till 10%) through evaporation.

The product in its dry state can be used as a fertilizer or as a RDF although there is a disregard towards it due to the nourishment potential's destruction in the thermal drying process.

As in for the use of the product as a RDF, several studies have proved the advantages of the co-combustion with carbon in facilities with fluidized bed combustion systems, which increases significantly the energetic efficiency of the process and contributes for the decrease of the CO₂ emissions. The sludge co-combustion as a RDF raises the matter of the intentional and unnecessary destruction of the nutrients with the potential to be used in improving the reproductive qualities of the soil, being an aggravation the fact that among these nutrients can be found phosphorus, a non-renewable nutrient. Experiments in North Europe have supplied data for the creation and development

of innovative technologies capable of recycling phosphorus from digested and dehydrated sludge, specifically KREPRO technology. The KREPRO method obtains through precipitation/crystallization of iron phosphate, a potential fertilizer, as a result of the sulphuric acid-digested sludge treatment, and a complementary chain of reagents, also allowing the production of biofuel with a high heating content, but lacking of organic matter and agronomically valuable nutrients.

The solutions presented were projected for the WWTP in study with the purpose of analyzing the compatibility between the processes used and the possibility of optimization of the sludge treatment, complying with the legal requirements and environmental sustainability principles. The analysis encompasses calculus, based on bibliographical sources, in addition to project and operation parameters' projection, implemented at the WWTP, for the simulation of the behaviour of the economical and financial Key Performance Indicators, applied to the study of the feasibility of the investments, according to the chosen scenarios.

Investment and exploitation costs, as well as expectable profits were calculated for each one of the selected scenarios. It was established a rank of the options in analysis, according to the economical and financial profitability of each of the proposed/analysed solution and always having in mind the sustainability principles.

The profitability indicators show that the best performance is due to the pasteurization technology, with thermal drying and integrated treatment with chemicals (Plateau ASP), with a final product being a stabilized and hygienized compound with no trace of pathogens and a pre-determined level of nutrients. The cost-benefit ratio, Internal Rentability Rate and net Present Value Calculated for the project reinforce the arguments in favor of any of the presented solutions.

The original project proposal, sludge hygienisation through thermal drying, already existing at the WWTP, but temporarily deactivated, has turned out to be a reasonably competitive option when compared to the alkaline stabilization in closed container. However, it only happens in the optimization process of anaerobic digestion and biogas production as an energetic source as to overcome the high shortage of this resource in the thermal drying process.

From the alkaline stabilization RDP- En Vessel PasteurisationTM results in a mediocre performance, since it highly relies on the strategic data of the project, although revealing itself as a rather profitable option.

The current used option, the drainage of the generated residue to a licensed operator, has the worst performance in terms of profitability since the payment per each drained ton of sludge represents a big share in the total estimated annual cost at this stage of the operation.

Key words: Biosolid, RDF-Refuse Derived Fuel, Sludge Pasteurization, Agronomic Valuation, Thermal Drying, Rentability

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE QUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
NOMENCLATURA E ACRÓNIMOS	XI
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Nota histórica e Oportunidade do Tema	1
1.2 Enquadramento Jurídico.....	3
1.3 Objectivos	4
1.4 Metodologia aplicada	4
2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	6
2.1 Caracterização do tratamento de Águas Residuais Urbanas	6
2.2 Tipos de tratamento da Águas Residuais	6
2.2.1 Fase Líquida.....	9
2.2.2 Fase Sólida	11
2.3 Quadro da Evolução e Estratégia para o Desenvolvimento	12
3 LAMAS RESIDUAIS.....	13
3.1 Definição e características de Lamas de ETAR.....	13
3.2 Composição de Lamas.....	14
3.2.1 Matéria Orgânica	15
3.2.1 Azoto e Fósforo	16
3.2.2 Outros elementos	18
3.2.1 Metais Pesados	18
3.2.2 Poluentes Orgânicos.....	19
3.2.3 Microrganismos Patogénicos	20
3.3 Ciclo de tratamento de Lamas de ETAR	21
3.3.1 Tratamento preliminar	21
3.3.2 Espessamento	22
3.3.3 Estabilização	25
3.3.4 Condicionamento.....	30
3.3.5 Desidratação	32

3.3.6	Secagem Térmica.....	35
3.3.7	Armazenamento e Transporte.....	40
3.4	Destinos Finais de Lamas de ETAR	41
3.4.1	Pressupostos para optimização da gestão de Lamas de ETAR.....	41
3.4.2	Escoamento de lamas tratadas.....	42
3.4.3	Dinâmica e perspectivas da evolução a nível nacional e comunitário	53
4	CASO DE ESTUDO.....	55
4.1	Caracterização da ETAR da Guia	55
4.1.1	Descrição geral da Rede de Águas Residuais da Costa do Estoril	55
4.1.2	Localização da ETAR da Guia	56
4.1.3	Esquema de Tratamento na ETAR	58
4.1.4	Síntese dos principais Dados Técnicos da ETAR.....	60
4.2	Estação de Tratamento da Fase Sólida.....	60
4.2.1	Particularidades dos Processos de Tratamento.....	60
4.2.2	Tipologia das Lamas geradas na ETAR da Guia	64
4.2.3	Avaliação qualitativa das Lamas geradas e metodologias usadas	65
4.2.4	Produção de Lamas na ETAR da Guia.....	68
4.3	Avaliação dos cenários de gestão do resíduo final	68
4.3.1	Pressupostos para a optimização da gestão do resíduo no caso da ETAR da Guia	68
4.3.2	Descrição do cenário actual e idealização dos cenários alternativos	69
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	77
5.1	Discussão e Conclusões.....	77
5.2	Recomendações	79
6	BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS DE INTERNET.....	81

ANEXOS

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
Quadro 2-1.....	8
Quadro 2-2.....	10
Quadro 3-1.....	15
Quadro 3-2.....	16
Quadro 3-3.....	17
Quadro 3-4.....	18
Quadro 3-5.....	19
Quadro 3-6.....	19
Quadro 3-7.....	20
Quadro 3-8.....	22
Quadro 3-9.....	28
Quadro 3-10.....	31
Quadro 3-11.....	38
Quadro 3-12.....	39
Quadro 3-13.....	45
Quadro 3-14.....	54
Quadro 4-1.....	60
Quadro 4-2.....	64
Quadro 4-3.....	65
Quadro 4-4.....	65
Quadro 4-5.....	68
Quadro 4-6.....	70
Quadro 4-7.....	71
Quadro 4-8.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1.....	05
Figura 2-1.....	11
Figura 2-2.....	13
Figura 3-1.....	14
Figura 3-2.....	27
Figura 3-3.....	29
Figura 3-4.....	36
Figura 3-5.....	37
Figura 3-6.....	41
Figura 3-7.....	42
Figura 3-8.....	43
Figura 3-9.....	44
Figura 3-10.....	46
Figura 3-11.....	47
Figura 3-12.....	48
Figura 3-13.....	49
Figura 3-14.....	51
Figura 3-15.....	53
Figura 4-1.....	55
Figura 4-2.....	56
Figura 4-3.....	57
Figura 4-4.....	57
Figura 4-5.....	58
Figura 4-6.....	58
Figura 4-7.....	62
Figura 4-8.....	74
Figura 4-9.....	75

NOMENCLATURA E ACRÓNIMOS

AEA – Agência Europeia de Ambiente
Al – Alumínio (elemento químico)
ARU- Águas Residuais Urbanas
ARI – Águas Residuais Industriais
CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio
C – Carbono (elemento químico)
Ca – Cálcio (elemento químico)
Cd – Cádmió (elemento químico)
CDR – Combustível derivado de Resíduo
CE – Comissão Europeia
C/N - Razão Carbono - Azoto
Cl – Cloro (elemento químico)
CO - Monóxido de Carbono
CO₂- Dióxido de Carbono
CQO - Carência Química de Oxigénio
Cr – Crómio (elemento químico)
Cu – Cobre (elemento químico)
DA - Digestão Anaeróbia
DGGE - Direcção Geral da Gestão da Energia
DM (inglês) – mesmo que MS (Matéria Seca)
DRAP – Direcção Regional de Agricultura e Pescas
EPA (inglês) - Environmental Protection Agency (Agência de Protecção Ambiental)
ERSAR- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais
ETFL - Estação de Tratamento Fase Líquida
ETFS - Estação de Tratamento Fase Sólida
European Commission – Comissão Europeia
Fe – Ferro (elemento químico)
FER - Fontes de Energias Renováveis
H – Hidrogénio (elemento químico)
HE – Habitante-Equivalente*
Hg – Mercúrio (elemento químico)
Input (inglês) - Entrada
K – Potássio (elemento químico)

Define-se o HE como a relação fixa entre a matéria oxidável (MO) numa água residual e a sua CBO₅ e CQO para essa degradação, dada pela equação: $MO = (2CBO_5 + CQO) / 3$, sendo o HE = 57 g de MO / dia. Corresponde, também, a 90g de SST/dia, 15 g de azoto reduzido/dia, 4g de fosfato total/dia e 0,05 g de compostos clorados / dia).

LMDC - Lamas Mistas Digeridas e Centrifugadas
LRU - Lamas Residuais Urbanas
MO – Matéria Oxidável
MV – Matéria Volátil
MTD - Melhores Técnicas Disponíveis.
MUNISIG-CMS - Sistema Municipal de Informação Geográfica da Câmara Municipal de Sintra
N – Azoto (elemento químico)
Na – Sódio (elemento químico)
Ni – Níquel (elemento químico)
NOx - Óxidos de azoto
NPD – Azoto Potencialmente Disponível
Output (inglês) – Saída
P – Fósforo (elemento químico)
PAH – Hidrocarbonetos
Pb – Chumbo (elemento químico)
PCB - Bifenilos policlorados.
PEAASAR - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
pH - Potencial Hidrogeniónico
QCA - Quadro Comunitário de Apoio
RDP - Pasteurização em Reservatório Fechado
RGA - Recenseamento Geral da Agricultura
ROB - Resíduos Orgânicos Biodegradáveis
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos
SANEST - Sistema de Saneamento da Costa do Estoril
SAU - Superfície Agrícola Utilizada
SIG - Sistemas de Informação Geográfica
SRF (inglês) - Solid Recovered Fuel (o mesmo que CDR)
SST – Sólidos Suspensos Totais
SSV – Sólidos Suspensos Voláteis
SVI (inglês) - Índice de Volume de Lamas
TRS – Tempo de retenção de sólidos
UE - União Europeia
US EPA (inglês) – United States Environmental Protection Agency, (Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos da América)
UV - Ultra Violeta
VM (inglês) - o mesmo que SV (Sólidos Voláteis)
WEF (inglês) – Federação de Água e Ambiente (Associação Mundial de Profissionais na área ambiental, organização sem fins lucrativos)
Zn – Zinco (elemento químico)

1. INTRODUÇÃO

1.1 Nota histórica e Oportunidade do Tema

As infra-estruturas de saneamento de águas residuais são elementos importantes no quotidiano das sociedades modernas, cujo funcionamento e eficiência, implicando com a qualidade de vida, higiene e saúde pública, preservação ambiental e até com a valorização de destinos turísticos, ganham uma maior importância com o crescimento das áreas urbanas.

Com o objectivo de erradicar situações comprometedoras de salubridade, o conceito de saneamento de águas residuais em Portugal, definido nas últimas décadas, passou a reger-se pelos princípios e padrões internacionalmente estabelecidos. Nesta óptica, tornou-se indispensável a implementação e manutenção de sistemas devidamente regulamentados que assegurem um serviço de qualidade, convindo tanto às populações residentes como aos visitantes, cumprindo ao mesmo tempo com as obrigações de salvaguarda do meio ambiental envolvente.

Recorrendo aos relatos históricos alusivos à temática, é possível constatar que nos finais dos anos 60 eram bem patentes as consequências de uma deficiente resposta ao nível de saneamento de águas residuais nas localidades que cresceram ao longo da linha do Estoril e Cascais (Oliveira, 2005). Em resposta ao problema, um projecto de construção do futuro Sistema de Saneamento da Costa do Estoril, concebido e desenvolvido pelo Eng.º Pedro Celestino da Costa foi considerado uma solução aceitável, tendo sido comprovada e reconhecida a sua viabilidade.

Antecipando as possíveis limitações financeiras do País e prevendo a complexidade técnica da iniciativa, o plano de construção foi concebido de forma modular, antevendo duas fases. O projecto previa que após a conclusão final, o interceptor geral teria quase 25 km de extensão, recolhendo os efluentes dos emissários que acompanhavam as ribeiras do Jamor, Barcarena, Laje, Sassoeiros, Marianas, Caparide, Bicesse, Cadaveira, Amoreira, Castelhana, Vinhas e Mochos. Tratava-se de um projecto que visava não apenas minorar dificuldades antigas e actuais, mas sim dar resposta ao problema num horizonte alargado, calculando-se que a iniciativa iria servir em 2010 cerca de 800.000 habitantes, e em 2025, mais de 1.000.000, distribuídos pelos concelhos da Amadora, Cascais, Oeiras e Sintra (Oliveira, 2005).

Soluções financeiras geradas através de contrapartidas assumidas por agentes económicos da zona (em troca de licenciamento da sua actividade), recursos provenientes dos fundos comunitários e comparticipação do estado português (verbas públicas) asseguraram o financiamento necessário para o êxito deste projecto.

Em 1993-1994, em processo de negociações entre os Municípios, o Ministério do Ambiente e o IPE- Águas de Portugal, surgiu a premissa de constituição de uma estrutura empresarial que futuramente gerisse o Sistema de Saneamento da Costa de Estoril, cujos 51% do capital seria detido pela Águas de Portugal, assegurando a tutela do estado (requisito legal) e os restantes 49%, caberiam em parcelas iguais, de 12,5%, aos Municípios de Amadora, Cascais, Oeiras e Sintra, com possibilidade de futura participação de capitais privados em sistemas municipais, desde que em minoria. Posteriormente, esta premissa convergiu para uma decisão do Conselho de Ministros, em 18

de Maio de 1995, de criação da SANEST (Saneamento da Costa de Estoril, S.A.), tendo sido o diploma publicado sob a forma do Decreto-Lei n.º 142/95, de 14 de Junho. Anos mais tarde, a preocupação que se impôs com o início da exploração desta infra-estrutura, foi a eficácia dos métodos de tratamento e gestão, tanto das águas residuais como dos resíduos daí provenientes, lamas em particular, visando a sua sustentabilidade multilateral.

Por outro lado, geralmente, o problema de crescimento urbano e demográfico, traduzindo-se num incremento quantitativo constante de lamas a tratar, agrava de forma significativa as condicionantes dos processos de gestão deste resíduo. Nestas circunstâncias, em casos como este e semelhantes, os cenários de gestão a considerar, deveriam permitir obter maior segurança relativamente à aplicação de lamas, assegurando a produção energética essencial à sustentabilidade da nossa sociedade e a valorização orgânica com melhoria significativa dos solos. Do ponto de vista económico, estes investimentos deveriam ser sustentáveis sem necessidade de apoio permanente de recursos públicos (Duarte *et al.*, 2005).

Por conseguinte, no âmbito das políticas nacionais e de acordo com o estipulado no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II) para o período 2007-2013 apresentado a 21 de Fevereiro de 2007 (MAOTDR, 2007 a), recomenda-se que sejam privilegiadas as soluções que visem a redução da produção de lamas minimizando a geração dos subprodutos no processo e diminuição do volume das mesmas através de tecnologias de desidratação, secagem e compressão e que promovam a reutilização e a valorização energética, através da produção de biogás. Ainda no mesmo contexto, a deposição em aterro ou confinamento e eliminação do resíduo, apontada até há pouco tempo como uma das soluções, deverá deixar de ser um destino elegível, justificado apenas quando seja técnica ou financeiramente inviável a prevenção, reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização e, mesmo neste caso, deverá ser assegurada a redução do volume de resíduos e controlo dos lixiviados (Plano Estratégico para Resíduos Sólidos Urbanos, PERSU II 2007-2016) (MAOTDR, 2007 b)

Assim, atendendo às orientações das políticas comunitárias e tendo em conta as particularidades nacionais da evolução do sector, torna-se de maior urgência e importância a adopção e/ou eventual correcção dos modelos de gestão do fluxo de lamas residuais, quer ao nível de um sistema em geral, quer ao nível de uma unidade operacional, em particular.

O trabalho que se apresenta, propôs-se realizar, a título analítico, a respectiva abordagem sobre a actividade de uma dessas unidades, ETAR da Guia. Este trabalho permitiu desenvolver uma análise multilateral na vertente da gestão de lamas residuais na ETAR da Guia, realçando a excelência das melhorias introduzidas pela obra de beneficiação do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril, com especial ênfase sobre a sua linha de tratamento de lamas, equipada com uma instalação, tecnologicamente avançada e pioneira em Portugal, de secagem térmica. Com base nesta análise e após a consideração ponderada de todas as condicionantes avaliadas, foram delineadas soluções, como possíveis alternativas, de escoamento do resíduo gerado, lamas residuais urbanas (LRU).

1.2 Enquadramento Jurídico

O destino final das lamas residuais nem sempre foi o mais adequado, devido ao conhecimento escasso das características físicas, químicas ou biológicas das mesmas e dos potenciais perigos que poderiam representar para o ambiente, solo ou água (Sousa, 2005).

A começar pelas resoluções das convenções de Oslo e de Londres, em 1972, tornou-se evidente a crescente preocupação com a prevenção da poluição marinha proveniente da descarga de águas residuais sem tratamento. Em Oslo deu-se o início da implementação das práticas de controlo do cumprimento dos padrões estabelecidos e respectivo licenciamento desta actividade, compromisso cuja declaração conjunta tinha sido assinada pelos 13 países banhados pelo Mar de Norte e Atlântico Nordeste (Malta, 2001). Já a resolução da convenção de Londres, no mesmo âmbito, abrangia todos os mares e oceanos e fora ratificado pelos 60 países (Sousa, 2005).

Em 1974, a convenção de Paris, englobava a temática de poluição marítima por fontes terrestres, referente aos países banhados pelo Atlântico Nordeste, cuja resolução foi assinada pela Comunidade Europeia e mais 14 países, que ainda não faziam parte dela (Sousa, 2005).

É notável a evolução da abrangência da abordagem do problema a partir deste período. No início da década, praticamente o único destino de aplicação de lamas era a utilização na agricultura, visto ter sido largamente aceite o conceito de enriquecimento dos solos com substâncias orgânicas e minerais nutritivas contidas nas lamas, não havendo preocupação com a acumulação no solo de outros componentes extremamente prejudiciais. Não obstante, volvido pouco tempo, nomeadamente em 1986, é adoptada a Directiva Comunitária n.º 86/278/CEE, cujo objectivo é precisamente “regulamentar a utilização das lamas de depuração na agricultura, por forma a evitar efeitos nocivos sobre os solos, a vegetação, os animais e o homem, incentivando ao mesmo tempo a sua correcta utilização”. Com a transposição desta directiva para o direito jurídico interno, teve o seu início o processo de ajustamento da legislação nacional aos padrões internacionalmente estabelecidos para um controlo multilateral de factores inerentes a aplicação do resíduo, quando indicado para a valorização agronómica.

O Anexo I, com os respectivos quadros, apresenta uma compilação desta evolução, integrando um mapa do suporte legal nacional através de um articulado de diversos regimes jurídicos, cujas disposições regulam as actividades da unidade em estudo, bem como outros aspectos importantes que possam decorrer das eventuais práticas adoptadas, circunscrito porém, ao âmbito do presente trabalho. Não se pretende aqui recorrer a uma listagem exhaustiva de todos os documentos jurídicos, respeitantes aos aspectos legais, inerentes ao fluxo de tratamento das Águas Residuais Urbanas e/ou sobre os efluentes gerados neste fluxo a partir do ponto de recolha e até ao destino final, tratando-se apenas de uma tentativa de identificação dos pilares e aspectos-chave do enquadramento jurídico da actividade praticada nas instalações em estudo.

1.3 Objectivos

A optimização do modelo de gestão das lamas provenientes do tratamento das águas residuais torna-se cada vez mais, sobretudo nos tempos de escassez actual dos recursos, uma das maiores preocupações das respectivas estações de tratamento, demais operadores e potenciais parceiros interessados no mercado dos resíduos. Assumindo esta preocupação como o ponto de partida para a abordagem do problema, esta dissertação vem fixar os seguintes objectivos:

- ✓ Proceder a uma revisão da situação actual em geral, no que concerne aos tipos de tratamento de lama utilizados, relacionando as tendências e possibilidades existentes actualmente no mercado com as potenciais capacidades de escoamento do resíduo das instalações em estudo.
- ✓ Diagnosticar o tipo de tratamento utilizado na ETAR da Guia, com enfoque no *layout* das lamas produzidas, identificando e caracterizando os parâmetros quantitativos e qualitativos da operação e do produto relativamente a adequabilidade aos requisitos exigidos para os destinos eleitos.
- ✓ Analisar e avaliar as soluções optimizadoras para o escoamento das lamas residuais, de acordo com os parâmetros verificados.
- ✓ Equacionar cenários alternativos de gestão do resíduo, de acordo com a análise efectuada, visando a discussão e argumentação da solução mais vantajosa e sustentável do ponto de vista económico-financeiro.

1.4 Metodologia aplicada

A informação obtida, no período de estudo, entre 2010 e 2011, junto da entidade gestora da ETAR da Guia, complementada pelas visitas técnicas aos locais de operação, permitiu avaliar de forma multilateral e extensiva os processos de tratamento das águas residuais e deposição das respectivas lamas derivadas:

- ✓ Na primeira parte do trabalho procedeu-se ao levantamento da informação de ordem geral e técnica sobre o Sistema de Saneamento da Costa de Estoril com ênfase nas dificuldades e perspectivas do desenvolvimento, tendo em conta a conjuntura actual económica do país e os requisitos legais atendíveis. Foi realizada uma análise conceitual às particularidades das instalações e ao modelo de operação na ETAR da Guia. Em coordenação com a direcção da ETAR, foram identificados os aspectos de maior interesse para o desenvolvimento do projecto de acordo com o objecto de estudo.
- ✓ Realizou-se uma revisão bibliográfica extensa, incluindo pesquisa e consulta metódica das soluções tecnológicas existentes, a nível nacional e internacional na matéria do saneamento das águas residuais e gestão dos respectivos resíduos com subsequente exposição da matéria, alusiva aos aspectos aplicáveis ao presente caso.
- ✓ Ainda, no capítulo 2, recorreu-se a uma recapitulação dos conceitos fundamentais do tratamento das águas residuais urbanas (ARU), incluindo a descrição dos processos tecnológicos constituintes. Em continuação, no mesmo capítulo, procedeu-se a uma análise comparativa, por interpelação dos dados, da evolução do sector a nível nacional, relativamente aos indicadores operacionais a nível comunitário.

- ✓ No capítulo 3, com base nas fontes bibliográficas, expôs-se a temática de lamas residuais oriundas do tratamento das ARU. Aqui foi apresentada uma abordagem detalhada sobre a génese e exploração de lamas geradas, fazendo uma breve descrição dos equipamentos utilizados, consoante o tipo de operações unitárias que integram a fase de tratamento e métodos de execução adoptados.

Todavia, este capítulo marca uma transição orgânica para as questões de interesse, levantadas por este estudo, através da projecção generalizada de alguns cenários plausíveis de escoamento das lamas residuais em virtude das suas vantagens tecnológicas, económicas e sociais, recorrendo a argumentação sustentada por resultados de estudos técnicos existentes, reconhecidos e aceites pela comunidade científica internacional.

- ✓ O tratamento dos dados e diagnóstico da situação na ETAR da Guia foi desenvolvido no capítulo 4, incluindo as características técnicas da operação, os valores respectivos e o *layout* dos processos.

No mesmo capítulo principiou-se a análise dos parâmetros operacionais quantitativos e qualitativos, registados ao longo do período em estudo, constituindo um conjunto de indicadores, cuja correlação foi decisiva para a avaliação dos eventuais destinos finais de deposição de lamas.

No mesmo âmbito e em complemento da avaliação realizada foi apresentada uma relação de custos de operação na unidade de tratamento e custos associados a cenários, actuais e alternativos, de escoamento do resíduo.

- ✓ O capítulo 5 concluiu o trabalho, propondo a discussão das soluções hierarquizadas, estruturadas em considerações finais e conclusões, de acordo com a sua viabilidade e sustentabilidade ambiental, económica e financeira.

As etapas do desenvolvimento deste trabalho, resumidas ao diagrama linear estão esquematizadas na **Figura 1-1**.

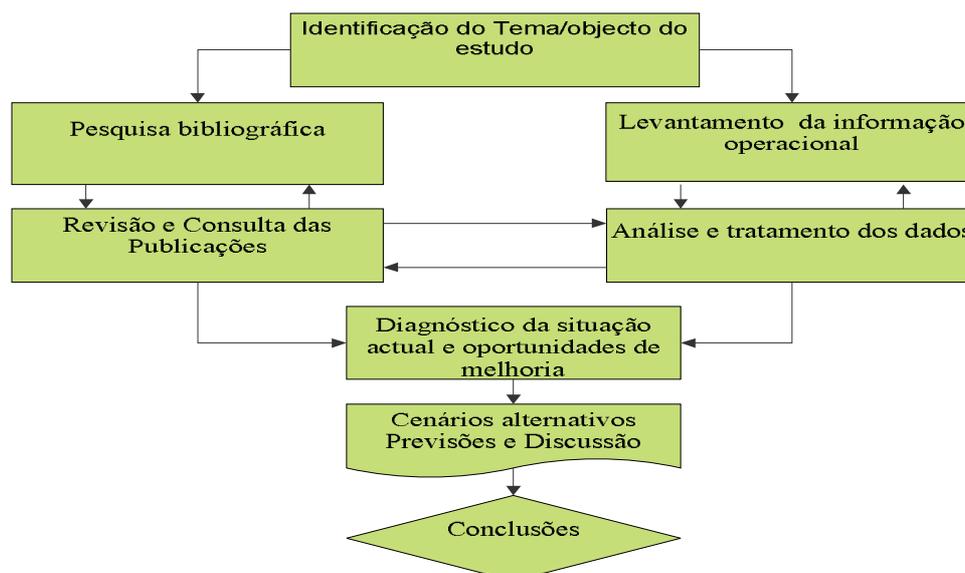


Figura 1-1 – Fluxograma das fases de elaboração do Projecto

2. TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.1 Caracterização do tratamento de Águas Residuais Urbanas

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

Marecos do Monte e Albuquerque (2010) referem que com a execução do PEAASAR II, estimava-se que 90% da população portuguesa deveria dispor do serviço de tratamento de águas residuais urbanas em 2013. De acordo com as definições introduzidas pela Directiva 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, transpostas para o direito jurídico interno pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, consoante a sua origem, as águas residuais classificam-se como:

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

O processo de caracterização de uma ARU é muito complexo, especialmente tendo em conta a sua origem. Entre as várias substâncias constituintes de uma ARU destacam-se os nutrientes, os microrganismos patogénicos, bem como compostos potencialmente mutagénicos ou cancerígenos (Pereira, 2008). A remoção destas substâncias constituintes (Quadro 2-1) requer a aplicação de um conjunto de técnicas, que são elaboradas e desenvolvidas acompanhando, passo a passo o “know-how” e o avanço tecnológico nas áreas científicas envolvidas.

2.2 Tipos de tratamento da Águas Residuais

Segundo Hahn *et al.* (1996), o tratamento de águas residuais é um processo técnico-industrial que consiste numa série de tratamentos físicos, biológicos e químicos, configurados por forma a obter a solução óptima do ponto de vista técnico e económico, adaptada às condições do projecto.

Segundo Azevedo (2003), a escolha de um sistema de tratamento é determinada por vários factores como: características quantitativas e qualitativas das águas residuais, localização do sistema e objectivos de qualidade que se pretendem – imposição do grau de tratamento. O conjunto de factores referidos inclui a avaliação de múltiplos elementos indicativos.

A título de exemplo o Quadro 2-1 apresenta a composição padronizada de uma ARU, identificando as substâncias e as respectivas concentrações, expressas através dos limites extremos.

Quadro 2-1 Parâmetros quantitativos de uma água residual urbana (Adaptado de Metcalf e Eddy, 2003)

Parâmetros		Concentração (fraca-forte)	Unidades
Sólidos totais (ST)		350-1200	mg L ⁻¹
Sólidos Dissolvidos (STD)	Totais	250-850	mg L ⁻¹
	Fixos	145-525	mg L ⁻¹
	Voláteis	105-325	mg L ⁻¹
Sólidos Suspensos (SS)	Totais	100-350	mg L ⁻¹
	Fixos	20-75	mg L ⁻¹
	Voláteis	80-275	mg L ⁻¹
Sólidos Sedimentáveis		5-20	mg L ⁻¹
CBO ₅ (a 20°C)		110-400	mg L ⁻¹
Carbono Orgânico total (COT)		80-290	mg L ⁻¹
CQO		250-1000	mg L ⁻¹
Azoto	Total	20-85	mg L ⁻¹
	Orgânico	8-35	mg L ⁻¹
	Amoniacal	12-50	mg L ⁻¹
	Nitritos	0	mg L ⁻¹
	Nitratos	0	mg L ⁻¹
Fósforo (em P)	Total	4-15	mg L ⁻¹
	Orgânico	1-5	mg L ⁻¹
	Inorgânico	3-10	mg L ⁻¹
Cloretos		30-100	mg L ⁻¹
Sulfatos		20-50	mg L ⁻¹
Alcalinidade (em CaCO ₃)		50-200	mg L ⁻¹
Óleos e gorduras		50-150	mg L ⁻¹
Coliformes Totais		10 ⁵ -10 ⁹	nº/100 mL
Compostos orgânicos voláteis		<100 - >400	µg L ⁻¹

Elementos quantitativos:

- ✓ Dados reais obtidos a partir de medições de caudal de efluente ou estimativas a partir dos consumos de água da rede;
- ✓ Estimativas com base em capitações, atendendo os indicadores fundamentais fixados pelo:
 - Regulamento Geral das Canalizações de Águas e Esgotos;
 - Especificações técnicas (LNEC, E212-1969).

Elementos qualitativos:

- ✓ Dados reais obtidos a partir de análises laboratoriais;
- ✓ Estimativas com base em capitações associadas aos diferentes parâmetros.

Elementos condicionantes da escolha do grau de tratamento pretendido:

- ✓ Qualidade do afluente bruto;

- ✓ Qualidade pretendida do efluente final;
- ✓ Custos de investimento, (custos e disponibilidade dos terrenos, evolução previsível das normas de rejeição, bases de cálculo aplicadas: horizonte do projecto e população a servir, caudais e factores de ponta);
- ✓ Custos de exploração;
- ✓ Custos de transporte, (sistemas de drenagem e bombagem de águas residuais);
- ✓ Imposições legais e oportunidades de reutilização dos efluentes, (líquido e sólido).

De acordo com Azevedo (2003), independentemente do sistema de tratamento definido, as operações nas ETAR devem estar planeadas e orientadas de forma a garantir o cumprimento dos objectivos globais, que no seu quadro geral integram:

- ✓ Tratamento final de águas residuais produzidas pelas populações e/ou indústrias, permitindo, uma possível reutilização destas, através de um processo longo e faseado;
- ✓ Promoção contínua da Saúde Pública;
- ✓ Preservação dos recursos hídricos;

Todavia, cada tipo de água residual tem as suas próprias características e deve ser estudada especificamente de modo a determinar qual o tratamento mais adequado.

As ARU têm uma composição maioritariamente orgânica, pelo que, mesmo que incluindo ARI de uma parte significativa de indústrias, tais como da química, farmacêutica e agro-alimentar, possuem uma elevada carga orgânica. Isto significa que os principais processos de tratamento estarão orientados para a eliminação desta mesma carga orgânica (Kiely, 2001). De uma forma geral, ao longo das fases de tratamento de águas residuais, a aplicação conjunta de processos físicos, químicos e biológicos determina a diferenciação de tratamento em vários níveis, denominados:

- ✓ Tratamento Preliminar (Pré-tratamento)
- ✓ Tratamento Primário;
- ✓ Tratamento Secundário;
- ✓ Tratamento Terciário, quando meio receptor é qualificado como sensível (Metcalf e Eddy, 2003)

Atendendo a diversidade e multiplicidade dos contaminantes a remover, o tratamento de ARU processa-se em duas fases:

A primeira fase, líquida, é a fase principal do processamento do afluente bruto e pode, num cenário idealizado, recorrer a todos os quatro níveis supra mencionados de tratamento, em que o afluente tem de sofrer a redução considerável da carga poluente até determinados limites, aceitáveis e estabelecidos. A segunda fase, sólida, não menos importante, está relacionada com os métodos de tratamento da fracção sólida, (lama residual), extraída ao longo da primeira fase do processo (Pereira,2008).

2.2.1 Fase Líquida

Tratamento Preliminar ou Pré-tratamento – por definição, é(são) o(s) processo(s) que prepara(m) a água residual para ser submetida ao posterior tratamento secundário convencional. Para uma ARU, isto significa separação da matéria flutuante, areia e manchas de óleos e gorduras para evitar uma eventual inibição do processo biológico e possíveis danos no equipamento mecânico (Kiely, 2001). O pré-tratamento é iniciado por gradagem/tamisação, que procede a remoção dos sólidos grosseiros (com dimensões superiores a abertura das grades, malhas ou tamisadores) e separação dos materiais mais volumosos, assegurando uma protecção ao equipamento a jusante e evita a obstrução de circuitos hidráulicos.

Após a gradagem sucede a desareação/desarenamento, com remoção de areias e partículas inertes, por redução da velocidade de escoamento das águas residuais, evitando desta forma a sobrecarga dos órgãos de tratamento subsequentes, principalmente decantadores e digestores. A remoção de óleos e gorduras no efluente através da flotação evita a obstrução dos colectores e a aderência aos equipamentos, bem como as dificuldades nas trocas gasosas. As subsequentes, homogeneização e equalização, evitam variações extremas de qualidade dos fluxos afluentes e garante um caudal regularizado.

Tratamento Primário - é a segunda fase do tratamento de águas residuais, permitindo a remoção da fracção sedimentável, com formação de lamas primárias. Esta fase reduz o teor em sólidos suspensos totais (SST) na ordem de 50 a 70%, e também o nível de carência bioquímica de oxigénio (CBO_5) entre 25 e 40%. Tal como o nome indica, esta fase ocorre no decantador primário (Azevedo, 2003). O tratamento primário frequentemente denomina-se clarificação, sedimentação ou decantação, cujo objectivo é redução dos sólidos em suspensão e redução do CBO_5 , bem como a separação do material flotante e homogeneização parcial dos caudais e da carga orgânica (Kiely, 2001). Os tipos da sedimentação que pode ocorrer são:

- ✓ Por partículas: discretas
- ✓ flocculentas
- ✓ Retardada/zonada
- ✓ Por compressão

A decantação primária actua de forma prévia, cumprindo o objectivo de remoção de partículas e obtenção de um clarificado e de um concentrado de lamas, preparando o afluente para o tratamento secundário.

A adição de coagulantes, (sais de ferro, cal, sais de alumínio), prévia à decantação provoca a agregação da matéria fina em suspensão em flocos mais favoráveis à decantação. Este facto aumenta substancialmente (Quadro 2-2) o rendimento das taxas de separação dos SS e CBO_5 . A desvantagem dos coagulantes químicos consta em aumento da quantidade de lamas primárias geradas, que são do tipo químico e mais difícil de desidratar (Duarte, 2009).

Quadro 2-2 Comparação dos rendimentos de separação de contaminantes na decantação primária com e sem coagulantes (Adaptado de Duarte, 2009)

Parâmetros	Rendimento da eliminação na decantação primária, %	
	Com coagulante	Sem coagulante
SST	60-90	40-70
CBO ₅	40-70	25-40
CQO	30-60	20-30
Pt	70-90	5-10
Bactérias	80-90	50-60

Tratamento Secundário – é de uma forma geral um processo que deve ser capaz de biodegradação da matéria orgânica em produtos não contaminantes, como por exemplo H₂O, CO₂ e biomassa (lama) (Kiely, 2001).

O tratamento secundário é caracterizado por contacto entre a matéria orgânica de água residual e os microrganismos aeróbios, bem como pela introdução de oxigénio no seio da mistura de água residual e flocos biológicos (lamas activadas). As lamas activadas (flocos biológicos) são massas biologicamente activas, resultantes do aumento de processos de floculação de partículas coloidais orgânicas e inorgânicas e de células vivas.

O processo de injeção de ar ou oxigénio puro para misturar a lama em tratamento com a água residual, assegurando em simultâneo a quantidade de oxigénio suficiente para os microrganismos degradarem os compostos orgânicos, é conhecido como arejamento (Azevedo, 2003). O objectivo deste processo consiste na estabilização da matéria orgânica (sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão) da água residual que afluí ao tanque de arejamento, isto é, através da actividade microbiana reduzir o conteúdo orgânico por meio de conversão em vários gases e tecido celular, cuja remoção é feita posteriormente por sedimentação e/ou decantação secundária.

Em muitos casos, quando se trata de meio receptor sensível (lagos e águas de curso lento) persistindo o risco de eutrofização, o tratamento secundário visa também a remoção de nutrientes, nomeadamente do fósforo e azoto (Kiely, 2001).

O tratamento secundário, contrastando com os processos antecedentes, tem à sua disposição várias tecnologias que funcionam sobre princípios semelhantes, destacando-se deste conjunto os sistemas aeróbios intensivos, quer por biomassa (microrganismos) suspensa (lamas activadas), quer por biomassa fixa (leitões percoladores e biodiscos ou discos biológicos), e os sistemas aquáticos por biomassa suspensa – lagunagem (Azevedo, 2003) sendo que em casos de utilização de reactores biológicos é conveniente ter o sistema dotado de decantadores ou filtros para a remoção de sólidos e recolha de lamas secundárias. Precisamente nesta fase do processo de tratamento de ARU é dada a maior importância ao cumprimento dos requisitos legais impostos à qualidade do efluente. Segundo o Decreto-Lei 152/97, este tipo de tratamento deverá permitir atingir valores de CBO₅ não superiores a 25 mgL⁻¹ a 20° C sem nitrificação e 125 mgL⁻¹ de CQO, constituindo a percentagem de remoção na ordem de 75 a 90% e 75% respectivamente.

Tratamento Terciário/Afinação – consiste essencialmente em desinfecção e controlo de nutrientes, incluindo as seguintes fases:

- ✓ Remoção de SST
 - ☑ Filtração em areia

- ✓ Remoção de microrganismos
 - ☑ Cloragem – Sistema de desinfecção mais vulgar, sendo também o mais económico. Muito eficiente com as bactérias, no entanto é bastante ineficaz na eliminação dos vírus e os resíduos da cloragem permanecem na corrente filtrada, com graves inconvenientes ambientais e de saúde pública.
 - ☑ Ozonização – Semelhantes desvantagens, embora a uma escala menor e mais onerosa. O ozono não se mantém muito tempo na água, no entanto, formam-se no processo subprodutos contaminantes que se mantêm na água tratada.
 - ☑ Radiação Ultra Violeta – mais oneroso que a cloragem, é uma tecnologia mais recente que não produz quaisquer resíduos tóxicos e obtém óptimos resultados na destruição de vírus e bactérias, apresentando-se como a solução mais adequada para um tratamento terciário (Azevedo, 2003)
 - ☑ Membranas (microfiltração)

- ✓ Remoção de nutrientes
 - ☑ Azoto (Nitrificação/Desnitrificação biológica);
 - ☑ Fósforo (Precipitação química ou Processo biológico);

2.2.2 Fase Sólida

Nas estações de tratamento convencionais, as lamas têm origem na operação de decantação primária e nos processos secundário e terciário. Em muitos casos, as lamas são obtidas na forma de lama mista, (mistura de lamas primárias com lamas secundárias), no decantador primário. Noutras situações, as lamas são separadas em decantadores distintos e só posteriormente processadas em comum (Azevedo, 2003).

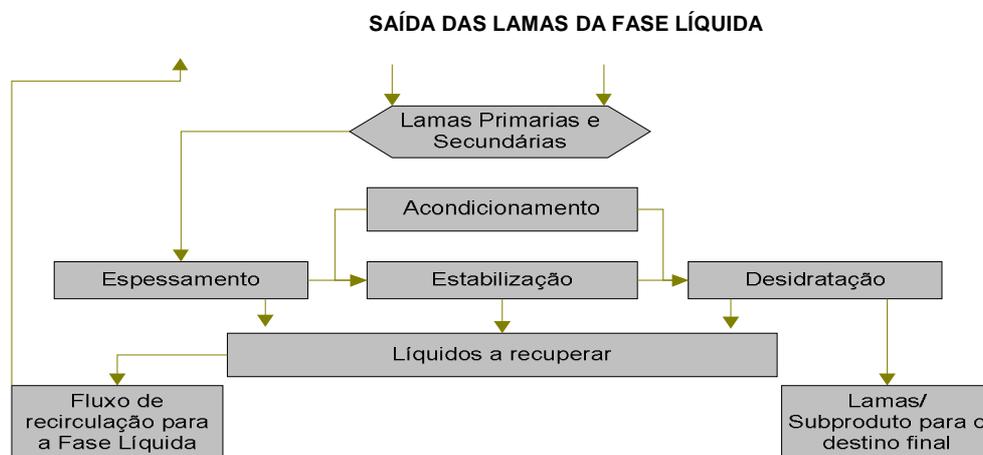


Figura 2-1 Fluxograma tipo do tratamento da Fase Sólida numa ETAR (Adaptado de Pires, 2009)

As lamas são geralmente enviadas para o espessamento de modo a ficarem mais compactas, tal como o nome indica, seguindo para desidratação, onde se reduz o volume de água presente nas lamas. A montante da desidratação as lamas podem ser estabilizadas, consoante o seu destino final (Azevedo, 2003).

De uma forma simplificada o processo de tratamento de lamas residuais pode ser esquematizado através de um fluxograma (Figura 2-1) em que as respectivas fases do tratamento podem variar consoante às técnicas adoptadas e ao tipo de equipamento.

O tratamento da fase sólida será analisado e desenvolvido de forma mais ampla e detalhada no Capítulo 3.

2.3 Quadro da Evolução e Estratégia para o Desenvolvimento

Até aos anos 70, os investimentos do País, em termos de saneamento básico, foram praticamente inexistentes, excepto nos grandes núcleos urbanos. Mas a partir dessa data, e de forma mais integrada e consistente, tem vindo a ser canalizado um investimento considerável para esta área, tendo sido fixado, no Plano de Desenvolvimento Regional de 1994 a 1999, o aumento das taxas de atendimento de 82 para 95% no abastecimento de água e de 32 para 90% no saneamento e tratamento de águas residuais (MPAT, 1994). A situação da evolução da qualidade do serviço de saneamento de águas residuais, relacionada com os níveis de tratamento e população abrangida revelam, uma melhoria notória nos dados apresentados para os países do Sul da Europa, já a partir de 1997, (Figura 2-2).

A tendência da melhoria, a partir do ano 2000, representa os resultados da promoção das políticas ambientais sustentáveis e cumprimento das orientações definidas pela estratégia de desenvolvimento do sector, tanto a nível comunitário, como nacional.

Os principais objectivos operacionais definidos pela estratégia nacional para o período posterior a esta data, determinaram o aumento da universalidade, continuidade e qualidade do serviço, abrangendo cerca de 90% da população total do país com sistemas públicos de saneamento de águas residuais, sendo que em cada sistema integrado de saneamento, o nível de atendimento desejável devia ter atingido pelo menos 70% da população abrangida (PEAASAR II: MAOTDR, 2007a). Como balanço desta dinâmica podemos concluir que, embora se tenham atingido valores de taxas de atendimento elevadas, estas ainda estão muito longe dos valores expectáveis e aceitáveis. Assim, se justifica a necessidade de se fazer um esforço mais acentuado no sentido de alcançar as metas de atendimento estabelecidas, pelo que, o PEAASAR II veio delinear o conjunto de orientações a nível multilateral, agregando e harmonizando um todo o leque de soluções estratégicas para os modelos de gestão nas vertentes, social, económica e financeira.

Observando a tendência dos últimos anos, torna-se evidente que provavelmente subsistirá o aumento contínuo do fluxo das águas residuais urbanas para o tratamento, gerando também um acréscimo quantitativo nos resíduos e subprodutos daí provenientes (lamas), pelo que para assegurar a sustentabilidade exigida, as soluções apresentadas no contexto do tratamento e processamento das ARU, deverão ter um carácter duradouro, porém flexível e dinâmico, possibilitando um eventual

reajustamento rápido e eficaz.

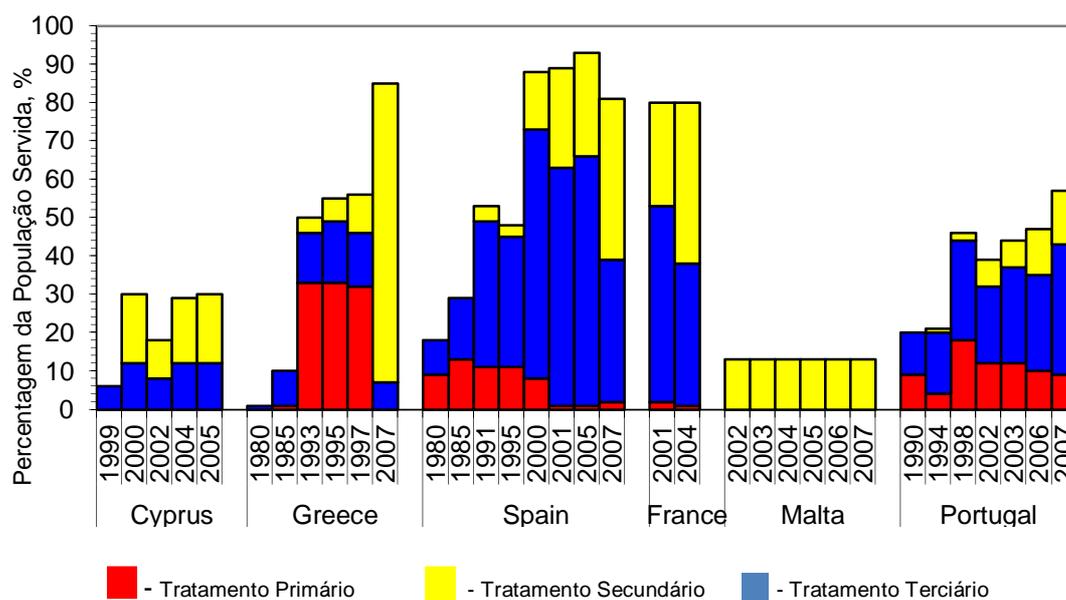


Figura 2-2 Evolução no tratamento de águas residuais nos países do Sul Europeu entre 1980 – 2007 (Fonte: European Commission, 2011)

Equacionando o enorme potencial da comparticipação do sector privado na prossecução dos objectivos definidos, no âmbito dos mesmos objectivos há que procurar o equilíbrio das condicionantes principais da sustentabilidade do sector, designadamente, a implementação das tarifas socialmente suportáveis, realização de investimentos necessários para atingir os níveis de atendimento com a qualidade exigida e o uso eficiente das infra-estruturas de acordo com as obrigações legais e boas práticas ambientais.

3 LAMAS RESIDUAIS

3.1 Definição e características de Lamas de ETAR

Segundo o Decreto-Lei 276/2009, de 2 de Outubro, lamas de depuração ou lamas residuais são as lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais domésticas, urbanas e de outras estações de tratamento de águas residuais de composição similar às águas residuais domésticas e urbanas.

De acordo com o Comité Europeu de Normalização (CEN), poderá definir-se *lama* como sendo a “mistura de água e de sólidos separada de diversos tipos de água como resultado de processos naturais ou artificiais” (Duarte *et al*, 2005).

Para os efeitos do presente trabalho serão consideradas e analisadas apenas as lamas produzidas nas ETAR urbanas.

As lamas obtidas numa ETAR podem ser primárias, recolhidas no decantador primário, biológicas ou secundárias, resultantes dos processos de tratamento biológico após a decantação

secundária e químicas, conseqüentes de processos de tratamento melhorado quimicamente (Figura 3-1). A composição e a qualidade das lamas, isto é, as suas características físicas, químicas e biológicas são variáveis, não somente devido a composição das águas de que provêm, mas também consoante a tecnologia de tratamento a que elas foram sujeitas.



Figura 3-1 Esquema de funcionamento de uma ETAR (Adaptado de Dias, 2004)

3.2 Composição de Lamas

A lama primária é constituída principalmente por sólidos sedimentáveis, apresentando um teor elevado de matéria orgânica que tem a sua origem principalmente nos componentes como fezes, legumes, frutas, têxteis etc. A sua consistência é de um líquido espesso com uma percentagem de água entre 92 e 96%, apresentando uma coloração cinzenta, na maioria dos casos acompanhada por um odor extremamente forte. As lamas primárias, contendo entre 60 a 70% de SSV, são separadas da água residual através de um processo físico, decantador primário e são posteriormente digeridas por processos aeróbios e anaeróbios (Qasim, 1999, citado em Rasquilha, 2010).

As lamas secundárias ou biológicas, como o próprio nome indica, são obtidas através de processos biológicos, onde ocorre a transformação da matéria orgânica através do metabolismo microbiano (European Commission, 2001) e contêm entre 70 a 80% de SSV, quando provenientes de um tratamento por lamas activadas e entre 60 a 75% quando provenientes do tratamento por leitos percoladores (Qasim, 1999, citado em Rasquilha, 2010). Independentemente da proveniência também são digeridas com facilidade por via dos processos aeróbios e/ou anaeróbios.

Segundo Sousa (2005), a produção e qualidade deste tipo de lamas varia de acordo com as taxas de crescimento e metabolismo dos microrganismos, bem como do processo biológico envolvido.

Para além dos constituintes já mencionados, todos os tipos de lama manifestam ainda uma quantidade considerável de nutrientes, tais como, azoto, fósforo, potássio, um elevado teor de matéria orgânica e também apresentam uma quantidade notável, embora menos acentuada, de cálcio, enxofre e magnésio. Estes elementos representam um potencial valorizável que se pretende recuperar e reutilizar durante e/ou após o tratamento.

Quadro 3-1 Características físicas de vários tipos de lamas (Adaptado de Qasim, 1999)

Tipo de Lama	Quantidade de lama produzida por unidade de ARU tratada g/m ³	% Sólidos	Peso específico dos sólidos g/cm ³	Peso específico das lamas g/cm ³
Primária	105 – 165	4 – 8	1,4	1,02
Secundária (lamas activadas)	700 – 1000	0,8 – 2,0 (após decantação) 0,2 – 0,6 (após tanque de arejamento)	1,25	1,005
Secundária (leitos percoladores)	500 – 900	2 – 4	1,45	1,025
Química (sais metálicos)	2000 – 2500	0,5 – 3,0	1,6	1,04

A análise dos parâmetros físicos de vários tipos de lamas, agregados no (Quadro 3-1) permite constatar que as lamas primárias são as que tem o maior teor de sólidos

O afluente que chega a ETAR é raramente homogéneo, pelo que apesar de se tratar de águas residuais domésticas, na maioria dos casos, no afluente principal é detectada uma mistura de efluentes industriais e águas pluviais.

3.2.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica de lamas residuais, que representa na maioria dos casos um valor superior a 50% da matéria seca presente nas mesmas, pode variar consoante o tipo de tratamento e/ou condicionamento. É geralmente constituída por hidrocarbonetos, aminoácidos e pequenas porções de proteínas e lípidos, existindo apenas um pequeno teor em lenhina e celulose na sua composição.

Esta matéria orgânica, quando administrada no solo, serve de fonte de energia para a actividade microbiológica, aumentando a população de microrganismos e contribuindo para o reforço da capacidade de mineralização, que pode levar por vezes a um pico de nitratos e de outros poluentes no solo (European Commission, 2001).

A aplicação de lamas nos solos tem uma grande vantagem relativamente ao uso de adubos minerais, pois os seus componentes vão-se libertando de uma forma mais lenta e duradoura, embora, segundo a European Commission (2001) para que isto aconteça, seria necessário aplicar um tratamento prévio, tal como a compostagem, tendo em conta a importância do tipo de composto e a maturidade dele. Uma alternativa a compostagem pode ser o processo de incorporação na lama de cal viva ou hidratada, quando em quantidades optimizadas. Neste caso, a matéria orgânica será mineralizada de forma gradual e os nutrientes serão libertados lentamente, reduzindo o risco de potencial lixiviação dos elementos em águas subterrâneas. O aproveitamento da matéria orgânica das lamas residuais para o uso agrícola traz melhorias para solos em termos de propriedades físicas, estrutura e capacidade de retenção de água e minerais, bem como redução do escoamento superficial e erosão hídrica (European Commission, 2001). Os parâmetros qualitativos das lamas residuais exibem tipicamente uma variação de itens e valores (Quadro 3-2) consoante à fase em que

se encontram.

Quadro 3-2 Parâmetros qualitativos dos vários tipos de Lamas de ETAR (Adaptado de European Commission, 2001)

Componentes	Unidades	Lama Digerida	Lama primária, com tratamentos físicos e químicos ou com grande carga poluente	Lama secundária (baixa carga)	Lama secundária após sedimentação (baixa e media carga)	Lama Mista mistura de lama primária com a lama secundária
Matéria Seca (MS)	g / L	30	12	9	7	10
Sólidos Voláteis(SV)	% MS	50	65	67	77	72
pH		7	6	7	7	6.5
C	% SV	49	51.5	52.5	53	51
H	% SV	7.7	7	6	6.7	7.4
O	% SV	35	35.5	33	33	33
N	% SV	6.2	4.5	7.5	6.3	7.1
S	% SV	2.1	1.5	1	1	1.5
C/N	-	7.9	11.4	7	8.7	7.2
P	% MS	2	2	2	2	2
Cl	% MS	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
K	% MS	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Al	% MS	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Ca	% MS	10	10	10	10	10
Fe	% MS	2	2	2	2	2
Mg	% MS	0.6	0,6	0,6	0,6	0,6
Gordura	% MS	10	18	8	10	14
Proteínas	% MS	18	24	36	34	30
Poder Calorífico	Kwh/t MS	3000	4.200	4.100	4.800	4.600

3.2.1 Azoto e Fósforo

O azoto e fósforo fazem parte dos nutrientes principais requisitados pelas plantas ao solo durante o seu ciclo de vida. Embora estes dois elementos estão sempre presentes nas lamas residuais, a quantidade e a forma química da sua presença pode variar consoante o tipo de tratamento que lhes for aplicado.

O azoto encontra-se na lama principalmente sob a forma orgânica. Mas também está presente, embora em menor grau, sob a forma mineral (amoniacal ou nítrica). A maior parte do azoto amoniacal está localizada na fase líquida das lamas e sofre uma grande redução após os processos de espessamento e desidratação, podendo ainda sofrer perdas no teor, na ordem de 30%, após o

armazenamento das respectivas lamas em fase líquida durante pelo menos 4 meses (European Commission, 2001). Como as plantas só podem assimilar o azoto mineral, o valor agrícola da lama neste caso depende da capacidade do seu azoto orgânico de ser mineralizado. Por conseguinte, a disponibilidade deste azoto para as plantas é afectada pelo tipo de lama e pode apresentar variações entre 4 a 60%, mesmo dentro de um tipo de lama (Quadro 3-3). A disponibilidade do azoto também pode ser influenciada pelos factores extrínsecos tais como, temperatura, humidade, pH e textura do solo (European Commission, 2001), factores que deverão ser considerados na realização dos ensaios com plantas (“in situ”).

Quadro 3-3 Análise comparativa de quantidades de N e P em LRU depois de tratamentos diferentes (Adaptado de European Commission, 2001)

Lamas de ARU Fases	N Total (% MS)	N amoniacal (N-NH ₄) (% de N/Total)	P (% de MS)
Líquidas	1 – 7	2 - 70	0.9 – 5.2
Semi-sólida	2 - 5	< 10	-//-
Sólida	1 – 3.5	< 10	-//-
Compostada	1.5 - 3	10 - 20	0.2 - 1.5

O fósforo é um nutriente extremamente precioso e sendo um recurso natural limitado e não renovável, as lamas residuais que contêm fósforo suscitam um elevado interesse.

As plantas utilizam o fósforo para o seu crescimento, assegurando o desenvolvimento do sistema radicular e a sua resistência às doenças (Sousa, 2005).

Nos solos cultivados, apenas 10 a 20% do fósforo veiculado pelos fertilizantes é absorvido pelas plantas no 1º ano após aplicação, o remanescente, neste caso, fica adsorvido na sua matriz ou precipitado. Sendo pouco móvel, o fósforo não utilizado pela cultura vai permanecer no solo, enriquecendo-o, podendo ser absorvido pelas culturas realizadas nos anos posteriores, contudo susceptível manter o seu efeito residual por 8 a 10 anos (Varenes, 2003).

O fósforo encontra-se nas lamas maioritariamente sob a forma mineral, podendo representar entre 30 a 98 % do fósforo total, de acordo com o tipo de lama. Como no caso do azoto, a quantidade de fósforo disponível nas lamas depende dos tratamentos realizados (Quadro 3-4), mas não apresenta uma dinâmica proporcional ao de fósforo total.

O fósforo pode aumentar o seu teor na lama na sequência do tratamento terciário específico para a remoção do mesmo (European Commission, 2001).

Em particular, foi observado que a lama submetida a compostagem revela redução do seu teor de fósforo devido ao seu envolvimento na actividade de vários co-produtos, sendo que durante o armazenamento, ao contrário do azoto, não foi detectada diminuição significativa do teor do fósforo (European Commission, 2001).

Quadro 3-4 Variação da quantidade de fósforo nas LRU de acordo com o tipo de tratamento,
(Adaptado de European Commission, 2001)

Tipo de tratamento	P ₂ O ₅ (% MS)	P (% MS)
Lama (digestão anaeróbia), não desidratada	4.9 – 6.9	2.1 – 3
Lama (digestão aeróbia), não desidratada	2.5 – 12.65	1.1 – 5.5
Lama primária, após calagem	2.5 - 12	1.1 – 5.2

3.2.2 Outros elementos

Outros elementos presentes nas lamas, tais como cálcio (Ca), potássio (K), enxofre (S), magnésio (Mg), sódio (Na), representam interesse para a produção de culturas, cada um deles sendo útil para o desenvolvimento das plantas, porém, podendo aparecer na lama sob várias formas (a exemplo do sulfato de magnésio e o óxido de magnésio) a sua eficiência dependerá da sua disponibilidade.

O cálcio também é o elemento utilizado largamente nos tratamentos de estabilização das lamas residuais. Vários estudos mostram que as lamas de depuração tratadas por esta via e em determinados tipos de solos têm impactos positivos sobre o pH, estrutura e permeabilidade do solo (European Commission, 2001).

3.2.1 Metais Pesados

As lamas de depuração manifestam, ao lado dos nutrientes, uma grande variedade de contaminantes como metais pesados, dos quais os 7 principais, nomeadamente, o cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio, crómio a partir de uma certa concentração podem afectar o processo de crescimento das plantas, deteriorar as propriedades do solo, inibir a actividade benéfica dos microrganismos e prejudicar gravemente o equilíbrio ambiental e saúde humana (Sousa, 2005).

As principais origens de metais pesados nas lamas efluentes residuais são a mistura de águas residuais domésticas com as águas pluviais, especialmente de escoamento sobre rodovias, e com as águas residuais industriais. Para cada origem, a concentração de metais pode ser muito diferente, dependendo ainda do contexto industrial de cada zona ou país (European Commission 2001).

No que diz respeito aos valores limite de concentração de metais pesados aceitáveis nas lamas de depuração, esta matéria encontra-se regulamentada pelo quadro jurídico europeu, através da Directiva 86/278/CEE, transposta para o regime jurídico interno pelo Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de Outubro. O Quadro 3-5 apresenta uma análise comparativa das taxas médias praticadas nos Estados-Membros e da taxa máxima permitida em Portugal.

Quadro 3-5 Concentração média dos 7 metais pesados nos Estados-Membros e valores limite de concentração em Portugal (Adaptado de European Commission 2001)

Designação do Metal	Directiva 86/278/CEE (mg kg ⁻¹ MS)	Média nos Estados- Membros, (mg kg ⁻¹ MS)	Decreto-Lei n.º 276/2009, Portugal (mg kg ⁻¹ MS)
Cd	20 - 40	0,4 – 3,8	20
Cr	1000 – 1750	16 – 275	1000
Cu	1000 – 1750	39 – 641	1000
Hg	15 – 25	0,3 – 3	16
Ni	300 – 400	9 – 90	300
Pb	750 – 1200	13 – 221	750
Zn	2500 – 4000	142 - 2000	2500

3.2.2 Poluentes Orgânicos

Um outro grupo de compostos que é frequentemente detectado nas lamas de ETAR é o dos compostos orgânicos e dioxinas, podendo provocar um impacto negativo sobre o meio ambiente, em caso de aplicação destas lamas na agricultura Quadro 3-6.

Quadro 3-6 Valores limite de concentração de compostos orgânicos nas lamas destinadas à agricultura (Adaptado de DL n.º 276/2009 de 2 de Outubro)

Compostos Orgânicos	Valores Limite (matéria seca), DL n.º 276/2009
LAS (alquilo benzenossulfonatos lineares)	5 000 mg kg ⁻¹
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	450 mg kg ⁻¹
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	6 mg kg ⁻¹
PCB (compostos bifenilos policlorados)	0,8 mg kg ⁻¹
PCDD (policlorodibenzodioxinas)	100 ng TEQ kg ⁻¹
PCDF (furanos)	100 ng TEQ kg ⁻¹

Os processos que modificam e condicionam a concentração e distribuição destes poluentes orgânicos no solo, concedendo-lhes um carácter dinâmico, em função do tempo, podem ser classificados, segundo (European Commission 2001), independentemente da sua natureza biótica ou abiótica, em 3 tipos:

- ✓ Processos de decomposição e transformação - (metabolismo, fotólise, catálise)
- ✓ Processos de retenção - (absorção, adsorção, precipitação, solubilização, sublimação)
- ✓ Processos de transporte – (pela flora e fauna, lixiviação, escoamento superficial “runoff”, volatilização)

Segundo Godinho (2009), os principais motivos para que os compostos orgânicos devam ser objecto de acções preventivas, são os seguintes:

- ✓ Degradação lenta destes compostos pelos microrganismos do solo, constituindo um risco de acumulação no solo;
- ✓ Propensão de bio-acumulação em organismos animais podendo afectar conseqüentemente os organismos dos seres humanos;
- ✓ Toxicidade superior dos produtos de degradação dos compostos orgânicos, relativamente aos seus compostos iniciais.

3.2.3 Microrganismos Patogénicos

Os principais microrganismos patogénicos presentes nas lamas de ETAR podem ser agrupados em cinco tipos principais: bactérias, vírus, helmintes (vermes parasitas), protozoários, fungos e leveduras, sendo que só os primeiros quatro são relacionados com impactes significativos na saúde (European Commission, 2001). A natureza e as concentrações destes microrganismos na lama vão depender da saúde e da dimensão da população servida, contudo, apresentando níveis de complexidade superiores, quando o efluente residual for tratado por processos biológicos. Geralmente a maioria destes contaminantes têm a natureza de patogénicos entéricos, ou seja, aqueles que são excretados com material fecal e geralmente constituem infectantes por via oral. A principal fonte de contaminação das lamas residuais com os microrganismos patogénicos advém do metabolismo humano, embora seja frequente a ocorrência de uma contaminação adicional de origem vegetal (lavagens, desde a preparação de vegetais, tanto domésticos como comerciais), animal (excrementos de animais de estimação e roedores) e de outra natureza, como por exemplo a incidência das águas pluviais através de escorrências e/ou tempestades sobre as áreas de deposição dos microrganismos patogénicos (vias de circulação, telhados, terraços e/ou outras superfícies contaminadas (European Commission, 2001).

Dados recolhidos a partir de uma variedade de fontes, mostram (Quadro 3-7) uma ampla gama de concentrações de patogénicos que podem estar presentes nas lamas de ETAR (Davis e Cornwell, 1998).

Quadro 3-7 Concentrações típicas de microrganismos (peso húmido) em lama não tratada

(Adaptado de Davis e Cornwel, 1998)

Tipo de microorganismo	Designação	Valores
Bactéria	Escherichia coli	10^0 g^{-1}
	Salmonella	$10^2 - 10^3 \text{ g}^{-1}$
Vírus	Entero	$10^2 - 10^4 \text{ g}^{-1}$
Protozoários	Giardia	$10^2 - 10^3 \text{ g}^{-1}$
Helmintes	Ascaris	$10^2 - 10^3 \text{ g}^{-1}$
	Toxacara	$10 - 10^2 \text{ g}^{-1}$
	Taenia	5 g^{-1}

Uma das particularidades, que inspira grande preocupação em termos de saúde pública em casos de aplicação das lamas de ETAR na agricultura, é o período de sobrevivência destes agentes patogénicos no solo, que pode ir até 70 dias, no caso das bactérias, até 100 dias no caso do enterovírus, até 20 dias nos protozoários e de vários meses no caso dos helmintas (European Commission, 2001).

3.3 Ciclo de tratamento de Lamas de ETAR

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

Em termos genéricos, pode dizer-se que as lamas antes da sua aplicação final devem ser preferencialmente estabilizadas com objectivo de se reduzir o seu poder de fermentação responsável pela produção de gases e odores, bem como, devem ter o volume reduzido para facilitar o seu manuseamento, transporte e armazenamento e devem ser purificadas, para eliminar o máximo de microrganismos patogénicos e elementos tóxicos (Azevedo, 2003).

Atendendo aos pressupostos enunciados, as lamas de ETAR necessitam de ser previamente tratadas através de um conjunto de técnicas, cujo custo constitui uma parcela considerável no custo total das actividades de uma ETAR, podendo representar, consoante ao grau de tratamento pretendido, na ordem de 30 a 50% do custo total da operação (AEA, 1998).

As operações infra listadas, quando incluídas na íntegra, podem constituir um sistema de tratamento complexo ou apresentar, com algumas alterações relativamente ao tipo e à sequência dos processos aplicados, sistemas mais simples, embora sempre com o intuito de desenvolver uma acção eficaz de tratamento, que seja baseada numa melhor combinação possível de operações unitárias, devendo ser avaliada e planeada caso a caso.

No Quadro 3-8 é apresentada a classificação dos processos de tratamento de lamas de ETAR, dispostos por ordem de aplicação geralmente adoptada.

3.3.1 Tratamento preliminar

Tal como o nome indica, inclui as operações de tratamento prévio das lamas, com o objectivo de facilitar os tratamentos a efectuar posteriormente, garantir um caudal constante e homogéneo, salvaguardar o bom funcionamento do equipamento das operações subseqüentes.

São consideradas operações preliminares:

- ✓ A trituração - garante a desintegração parcial do material de grandes dimensões ou filamentosos, reduzindo o risco de obstrução do equipamento.
- ✓ A gradagem - efectua a separação da fase mineral (areia) e orgânica das lamas.
- ✓ A mistura prévia - proporciona um conteúdo uniformizado e homogeneizado dos diferentes tipos de lamas, (primárias e secundárias), podendo ocorrer nos decantadores primários, na condutas ou ainda nos tanques de mistura, implementados especialmente para o efeito.

- ✓ O armazenamento prévio – permite estabilizar os desequilíbrios de caudais de lamas a tratar, garantindo uma constante operacionalidade do processo.

Quadro 3-8 Processos de tratamento de lamas da ETAR (Adaptado de Tchobanoglous, 1991)

Operação unitária, processo de tratamento	Efeito da Operação
Tratamento preliminar	
Trituração	Redução do tamanho dos materiais contidos
Gradação	Eliminação de areias
Mistura/Agitação	Homogeneização
Espessamento	
Por gravidade	Redução do volume
Por flotação	Redução do volume
Por centrifugação	Redução do volume
Por gravidade em filtros banda	Redução do volume
Em tambor rotativo	Redução do volume
Estabilização	
Estabilização com cal	Estabilização + higienização
Tratamento térmico	Estabilização
Digestão anaeróbia	Estabilização + redução de massa
Digestão aeróbia	Estabilização + redução de massa
Compostagem	Estabilização + higienização +
Condicionamento	
Condicionamento químico	Destabilização da carga iónica das partículas
Condicionamento térmico	Destabilização da carga iónica das partículas
Desidratação	
Filtros de vácuo	Redução de volume
Centrífugas	Redução de volume
Filtros banda	Redução de volume
Filtros prensa	Redução de volume
Leitos de secagem	Redução de volume
Leitos de macrófitas	Redução de volume
Lagunagem	Redução de volume + armazenamento
Secagem	
Por pulverização	Redução de peso + redução de volume
Em forno rotativo	Redução de peso + redução de volume
Em forno de câmaras múltiplas	Redução de peso + redução de volume
Em forno de leito fluidizado	Redução de peso + redução de volume
Evaporação de efeito múltiplo	Redução de peso + redução de volume
Reactor vertical de poço profundo	Redução de peso + redução de volume + peletização
Em Turbo-secador	Redução de peso + redução de volume

3.3.2 Espessamento

Segundo Dias (2004), o espessamento consiste na remoção da parte de fracção líquida das lamas e consequente diminuição de volume. O espessamento é geralmente efectuado por processos

de natureza física (Spellman, 1999) tais como acção da gravidade, (lamas primárias mais densas) ou flotação (lamas biológicas, menos densas) podendo ser processado em tanques de sedimentação, espessadores gravíticos, centrífugos ou de flotação e ainda em equipamentos de outra natureza, como digestores anaeróbios e bacias de armazenamento de lamas. O material daí resultante ainda é um fluido, designadamente lama, com teor em água de 70% a 90%, uma concentração mais elevada de sólidos, ainda que podendo ser bombeado, (European Commission, 2001).

A redução do volume, que é atingida após o espessamento, também permite diminuir de forma considerável os custos da cadeia de operações, aplicadas a seguir e nomeadamente, a menor capacidade dos tanques e outros equipamentos requeridos, a quantidade reduzida de matérias primas e subsidiárias utilizadas posteriormente, ao longo do tratamento e transporte para o destino final, justificando de forma absoluta a integração do espessamento em qualquer sistema de tratamento.

Espessamento gravítico

Actua de forma simples, separando a água da lama através da decantação num tanque, habitualmente de forma cilíndrica. Este tanque pode ser operado num regime *batch* em que o líquido sobrenadante é escoado ao fim de algumas horas de decantação e antes da bombagem das lamas espessadas. Em alternativa, o tanque pode ser operado em regime contínuo, com alimentação contínua de lamas e remoção contínua do sobrenadante e das lamas espessadas. Alguns tanques estão equipados com um dispositivo para efectuar a mistura lenta das lamas de modo a promover a floculação e a coagulação que melhoram a decantação acelerando deste modo o espessamento. Por vezes antes do espessamento, para promover a floculação e a coagulação, às lamas são adicionados químicos como polímeros (*ver condicionamento*).

O espessamento pode também ser promovido pela adição cuidadosa de um volume determinado de água ao tanque de espessamento, seguida de agitação lenta durante algumas horas. A água adicionada permite manter as condições aeróbias, ajudando na remoção de compostos orgânicos e inorgânicos solúveis que consomem grandes quantidades de produtos químicos utilizados para o condicionamento das lamas (Metcalf e Eddy, 2003). Ao mesmo tempo promove a coagulação, paradoxalmente resultando numa remoção de um volume de água superior ao volume de água adicionado de início.

Flotação por ar dissolvido

Neste processo o ar é injectado na lama afluente e mantido à uma pressão, superior à pressão atmosférica, antes das lamas serem transferidas para um tanque. O ar dissolvido é libertado imediatamente sob a forma de bolhas finas, que aderem às partículas de lama. Estas partículas, visto terem o peso específico menor que o da água, são arrastadas para a superfície de onde a lama flotante é removida (Kiely, 2001). Esta técnica também é usada para espessamento do excesso das lamas activadas. Devido à sua sedimentação lenta, este método consegue uma remoção rápida de uma quantidade maior de sólidos, constituindo uma das principais vantagens (Qasim, 1999).

Segundo o Metcalf e Eddy (1991), os factores de maior influência neste tipo de espessamento são a carga de sólidos, carga hidráulica, relação ar-sólidos e o Índice de Volume de Lamas (SVI).

Espessamento por centrifugação

É usado para espessar e desidratar lamas sendo uma versão acelerada dos processos de decantação. No tipo de centrífuga mais comum, o exemplo *solid-bowl scroll*, a lama é introduzida continuamente, geralmente com a adição de polímeros, sendo a centrífuga montada na horizontal e afunilada no fim (Metcalf e Eddy, 2003). A estrutura rotativa faz com que a lama se deposite na periferia do rolo interno, que roda a velocidades ligeiramente diferentes, desloca a lama para a zona afunilada na qual o sólido desidratado, tipicamente com a humidade de 78 a 82%, é descarregado na outra extremidade da centrífuga.

Este método de espessamento é mais adequado para utilização nas ETAR de grande dimensão, dado a necessidade de processamento contínuo de grandes quantidades de lamas residuais, podendo também ser empregue em estações onde o espaço é reduzido e em estações onde as lamas são difíceis de concentrar por meios convencionais (Buttz e Daigger, 1998).

Pode ser alcançado uma concentração de 3 a 6% de matéria seca, dependendo do tipo de equipamento e as características das lamas (Kiely, 2001). A técnica de tratamento por centrifugação é frequentemente associada a operação de desidratação.

Espessamento por gravidade em filtros banda

O espessamento por gravidade em filtros banda representa um desenvolvimento mais recente da técnica de espessamento e usa o mesmo princípio que a desidratação por gravidade (ver subsecção 3.3.5). O filtrado é escoado através de uma banda em movimento, entretanto os sólidos são retidos na superfície. A lama, ao permanecer na banda, é constantemente agitada e forçada a colidir com as saliências alinhadas desta superfície. A velocidade da banda é variável e pode, quando complementada pela adição do polielectrólito, garantir a obtenção do resultado desejado na percentagem do concentrado.

A porosidade da banda é normalmente diferente da utilizada para as bandas de desidratação (Kiely, 2001).

Espessamento em tambor rotativo

Este tipo de equipamento realiza um tratamento prévio antes das lamas serem enviadas para um sistema de desidratação, porém cumprindo o seu objectivo de redução do volume (Metcalf e Eddy, 2003).

O dispositivo é constituído por tambores cilíndricos, colocados horizontalmente um sobre o outro. Tipicamente o tambor superior, com paredes impermeáveis, é responsável pelo acondicionamento e agitação das lamas. O tambor (s) inferior (s), que é alimentado(s) com a lama condicionada, em mistura com polielectrólito, tem paredes semipermeáveis, permitindo devido ao

movimento rotacional do sistema, o escoamento do permeado por uma das extremidades (Kiely, 2001).

Por alguns projectos de ETAR já foi considerada e equacionada a possibilidade de integração desta operação com a desidratação, nomeadamente utilizando os filtros prensa.

O espessamento em tambor rotativo carece normalmente, em prol da eficiência, de adição de grandes quantidades de polímero, contudo, é geralmente utilizado em pequenas e médias estações de tratamento, na maioria dos casos para o tratamento de lamas activadas.

3.3.3 Estabilização

Com o intuito de evitar os impactes negativos no ambiente e na saúde pública, torna-se necessário efectuar um tratamento às lamas, tendo em vista a sua adequada aplicação, garantindo a sua inocuidade, ou seja, a sua higienização (Azevedo, 2003).

É possível alcançar este propósito recorrendo ao processo de estabilização, embora a sua aplicação esteja condicionada pelo destino definido para o escoamento das lamas. Se as lamas forem destinadas para a incineração, é comum a prática de omissão da etapa de higienização por razões económicas. Se se optar pela utilização de lamas na agricultura, a estabilização e higienização seria um processo indispensável, tendo a redução de patogénicos como o principal objectivo. A estabilização de lamas neste caso poderá ser feita por qualquer via (Quadro 3-7) considerada tecnicamente disponível e justificável, bem como economicamente viável para o caso.

Estabilização química com cal

Geralmente, do tratamento por estabilização química resulta a inactivação, ainda que temporária, dos microrganismos que colonizam as lamas, com a consequente redução de maus cheiros (Gonçalves, 2005).

A utilização de cal não produz uma redução de matéria orgânica das lamas. A sua acção de estabilização/higienização dos microrganismos presentes nas lamas é evidenciada quer através de simples elevação do pH das mesmas (para valores superiores a 12) com a utilização de cal hidratada, $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, quer através da conjugação deste fenómeno com o aumento de temperatura para valores superiores a 60° C, quando utilizada sob a forma de cal viva (CaO) (Azevedo, 2003).

O tratamento com cal viva provoca uma secagem de lama devido à extinção da cal (reação exotérmica em que é fixada uma molécula de água por cada molécula de CaO , de acordo com a seguinte equação: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Energia}$. A este efeito juntam-se a destruição dos germes patogénicos, elevação do pH, insolubilização dos metais, acção sobre as estruturas dos colóides e reacção pozolânica, isto é, formação duma estrutura sólida por adição de água ou água e cal (Pita, 2002).

Segundo Metcalf e Eddy (2003) a estabilização de lama através da aplicação da cal viva, pode ser feita de 3 formas distintas, nomeadamente, com adição da cal antes ou depois da desidratação das lamas ou ainda recorrendo a tecnologias avançadas de estabilização alcalina.

As variáveis que condicionam a eficácia da calagem como processo de estabilização e higienização de lamas de ETAR são as quantidades de cal adicionada à lama, as condições de mistura e o tempo de armazenamento, (Duarte e Reis, 2002 citado em Florindo, 2009).

A estabilização de lamas via química com a utilização de cloro, ozono, peróxido de hidrogénio e permanganato de potássio, também é possível, porém para pequena escala (Fernandes e Souza, 2001).

Digestão anaeróbia

Como o próprio nome indica, a digestão anaeróbia (DA) é um processo de degradação de matéria orgânica na ausência do oxigénio, resultando numa mistura aproximada de 65% de metano e 35% de dióxido de carbono e, uma pequena quantidade de biomassa bacteriana - lama digerida (cerca de 0,05 g de SSV por 1g de CQO removido) e um efluente digerido (Duarte 2007, citado em Florindo, 2009).

A digestão anaeróbia das LRU consiste num processo bioquímico de várias etapas que pode ser aplicado para a estabilização de diversos tipos de materiais orgânicos (Azevedo, 2003). Este processo representa um conjunto de fases de metabolismo bacteriano, onde inicialmente, os polímeros complexos como proteínas, hidratos de carbono e lípidos, por acção de enzimas extracelulares, são hidrolisados em formas solúveis e de menor peso molecular, cujo facto lhes permite atravessar a membrana celular dos microrganismos. Os formados aminoácidos, açúcares, ácidos gordos e álcoois, através da fermentação, são transformados em ácidos gordos de cadeia curta, álcoois e amoníaco. De seguida ocorre a conversão destes ácidos gordos orgânicos de cadeia curta em acetato, hidrogénio e dióxido de carbono. O processo é concluído com a produção de metano por duas vias, a partir do hidrogénio, por acção de microrganismos metanogénicos hidrogenofílicos e a partir do acetato, mediante a acção dos metanogénicos acetoclásticos (Pavlosthatís e Geraldo-Gomes 1991, citado em Kiely, 2001).

Segundo Gujer e Zehnder (1983) todo o processo de digestão anaeróbia pode ser subdividido, conforme representado (Figura 3-2) em sete subprocessos:

- Hidrólise da matéria orgânica complexa;
- Fermentação dos aminoácidos e açúcares;
- Oxidação anaeróbia dos ácidos gordos de cadeia longa e álcoois;
- Oxidação anaeróbia dos produtos intermediários;
- Produção do acetato a partir do CO₂ e H₂;
- Conversão do acetato em metano por acção das bactérias metanogénicas acetoclásticas;
- Produção de metano por acção das bactérias metanogénicas hidrogenofílicas, a partir do CO₂ e H₂;

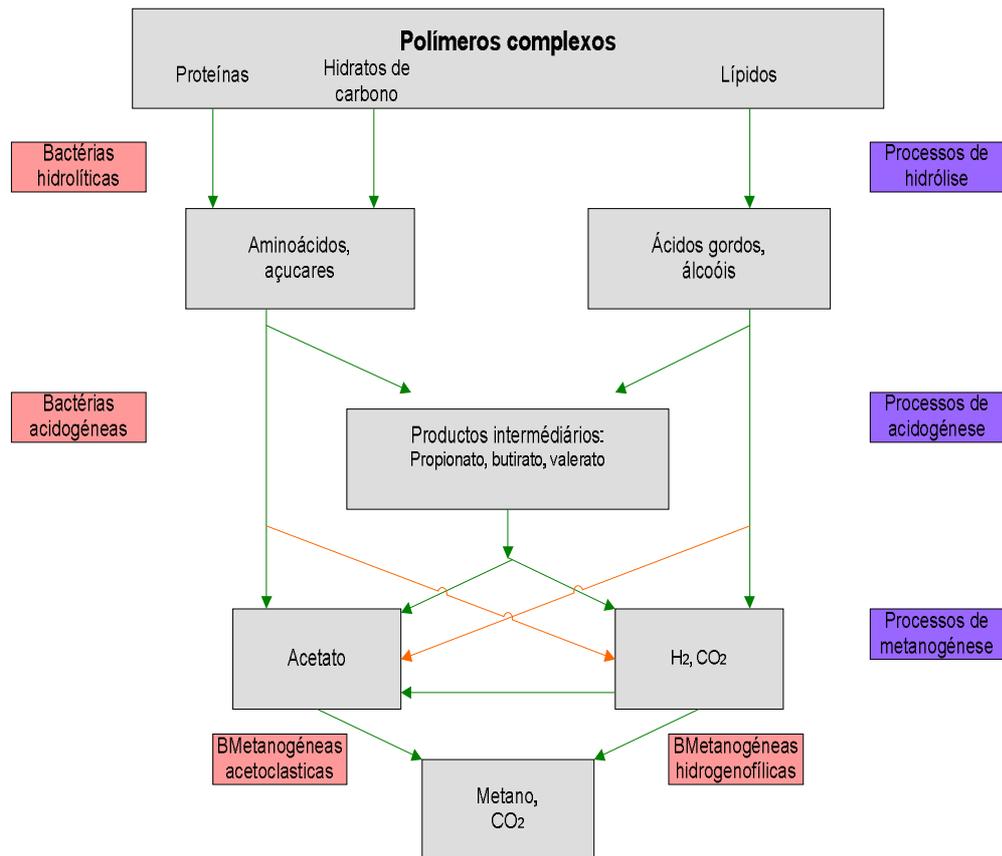


Figura 3-2 Etapas constituintes da digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos para efeitos de produção de metano (Fonte: Kiely, 2001)

Assim a transformação da matéria orgânica durante a digestão anaeróbia pode ser resumida em 3 fases, de acordo com a (Figura 3-2). Existem fontes que referenciam 4 fases, por destaque da acetogénese.

- Hidrólise
- Acidogénese/Acetogénese
- Metanogénese

Cada estágio envolve acção de determinadas espécies de microrganismos com uma natureza complexa das populações microbianas e relação entre elas (Quadro 3-9).

As bactérias envolvidas na DA devem actuar num meio com o valor de pH entre 6-8, sendo necessário a manutenção da alcalinidade na ordem de 3000 mg, em compensação da presença permanente dos ácidos gordos, para assegurar o tamponamento suficiente e otimizar as condições do metabolismo (Kiely, 2001).

A digestão anaeróbia determina a possibilidade de valorização energética das lamas de ETAR através da produção do biogás e/ou, com efeito, da eventual utilização do mesmo como fonte de energia para subseqüentes processos de tratamento (ex. secagem térmica). A digestão anaeróbia processa-se em reactores de diferentes tipos da 1ª ou 2ª geração, de baixa ou alta carga e com

vários princípios de agitação (agitação por recirculação de gás, reactores de leito fixo ou de leito fluidizado, etc.).

Quadro 3-9 Espécies bacterianas envolvidas na digestão anaeróbia (Adaptado de Whetley, 1991)

Etapa	Género/espécie	População mesófila em lamas de depuração
Acidogénicos hidrolíticos	Bytirivibrio, Clostridium Ruminococcus, Acetivibrio Eubacterium, Peptococcus Lactabacillus, Streptococcus, etc.	$10^8 - 10^9$ por ml
Acetogénicos Homoacetogénicos	Acetobacterium, acetogenium, Eubacterium, Pelobacter, Clostridium, etc.	$\sim 10^5$ por ml
Acetogénicos redutores obrigatórios de protões	Methanobacillus omelionskii, Sintrofobacter wolinii, Sintrofomonas wolfei, Sintrophus busweilii, etc.	$\sim 10^5$ por ml
Metanogénicos	Metanobacterium (várias espécies) Metanobrevibacter, Metanococcs, Metanomicrobium Metanogenium Methanospirillum, etc.	$\sim 10^8$ por ml

Digestão aeróbia

Segundo Kiely (2001), a digestão aeróbia é semelhante, de certo modo, ao processo de lamas activadas. A lama é transportada para um tanque, onde é misturada e agitada em condições aeróbias. O TRS com que se opera na prática é de 25 a 40 dias. A redução dos sólidos voláteis por oxidação da matéria orgânica biodegradável é acompanhada por um aumento da biomassa bacteriana que, quando concluída a degradação do substrato orgânico disponível, passa a consumir o seu próprio protoplasma (respiração endógena), mantendo activo o seu processo celular. Contudo, apenas 75 a 80% do tecido celular é passível de oxidação aeróbia, sendo que os restantes 20 a 25% são constituídos por compostos orgânicos e/ou inertes não biodegradáveis (Metcalf e Eddy, 2003).

À semelhança do processo de digestão anaeróbia, existem Opções do processo de digestão aeróbia. As mais usuais são a digestão aeróbia convencional, digestão aeróbia em “batch” ou em contínuo e a digestão aeróbia com injeção de oxigénio puro (Sousa, 2005).

De acordo com o Pincince *et al* (1998), a digestão aeróbia apresenta uma série de vantagens,

- Produto final estabilizado e inodoro, (húmus)
- Baixo custo de investimento
- Fácil operação
- Gases, libertados durante o processo, não explosivos (CO_2 , NH_3)
- O sobrenadante mais purificado, (menor concentração de CBO)

contudo, não sendo isenta de algumas desvantagens:

- Sobressaltos de custo devido ao fornecimento de oxigénio
- Rendimento reduzido em clima de frio

- Ausência de produção de metano, (valorização energética)
- Lama dificilmente desidratada por sistemas mecânicos.

Compostagem

Processo aeróbio controlado de bioxidação de substratos heterogêneos, resultante da acção dos microrganismos, durante o qual ocorre uma fase termófila e a biomassa sofre mineralização e humificação parciais, sendo o principal produto final o composto (Cunha-Queda, 1999).

Segundo Gonçalves (2005) a técnica da compostagem consiste na decomposição controlada de resíduos orgânicos por via aeróbia. Assenta fundamentalmente no empilhamento dos resíduos orgânicos para permitir a conservação do calor no interior da massa destes, pretendendo-se que o processo de fermentação, que pode durar muitos meses em condições naturais, possa decorrer nas instalações de compostagem em algumas semanas.

Os principais objectivos da compostagem incluem:

- Obtenção de um produto estável, que não seja susceptível de repentina evolução biológica, maturado e que seja compatível (não fitotóxico) com o seu emprego na agricultura como correctivo orgânico dos solos;
- Deve permitir também a eliminação de maus odores, a redução de volume e de massa e a desactivação de microrganismos patogénicos (higienização) da matriz inicial;

O processo de compostagem, assim como o da digestão aeróbia, requer acerca de 30 dias para degradação completa. Uma vez alcançada esta degradação completa, o processo é irreversível e o produto está totalmente estabilizado. Geralmente os processos de compostagem consistem na mistura das lamas desidratadas com um agente estruturante de suporte, podendo ser representado por estilhas de madeira, serradura, folhas de papel ou outro resíduo sólido, sendo mais frequente a utilização de estilhas de madeira devido a sua possibilidade de reutilização (Kiely, 2001).

Os tipos mais utilizados de compostagem, segundo Kiely (2001), são a tradicional “em cristas”, em pilha estática arejada e compostagem em câmara fechada/reactor.

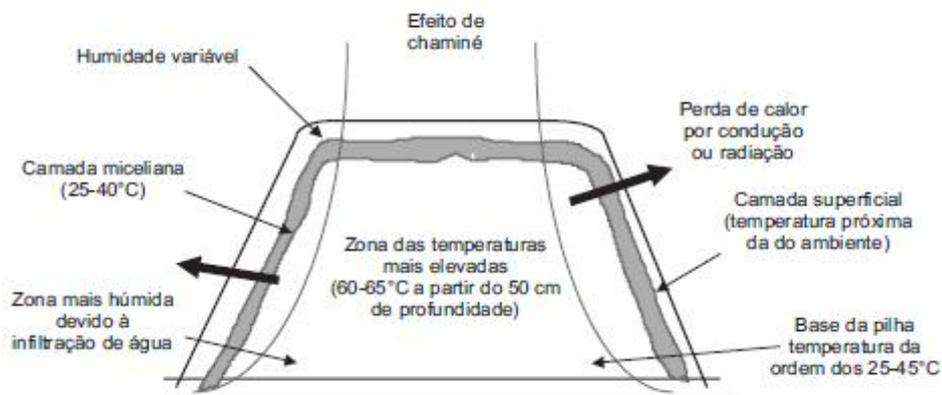


Fig. 3-3 Corte transversal de uma pilha sem arejamento forçado com as variações da temperatura (Adaptado de Gonçalves 2005)

De uma forma geral a compostagem pode decorrer em sistemas abertos ou fechados. Nos sistemas abertos, o material orgânico é processado ao ar livre, sob a forma de pilhas triangulares ou rectangulares. A tecnologia mecânica e os processos aplicados são relativamente simples, a duração da fermentação é de pelo menos 6 a 12 meses, requerendo grandes áreas para a implantação destes tratamentos, causando geralmente impactes ambientais de elevada magnitude, sobretudo ao nível da libertação de odores.

Nos sistemas fechados o objectivo principal é uma decomposição controlada e rápida de material orgânico. Esta decomposição é efectuada por processos aeróbios através de ventilação forçada do composto, sendo o ar de escape e as águas residuais produzidas, captados e tratados (Godinho, 2009).

Os principais factores que condicionam o processo de compostagem são o tipo de agente de suporte, temperatura de operação, teor de humidade, teor de oxigénio, quantidade da matéria orgânica e nutrientes (Gonçalves, 2005).

Quanto a aplicabilidade ao tratamento de lamas de ETAR, a compostagem mantém boas perspectivas para a sua utilização no futuro, embora seja tradicionalmente classificada como um processo de baixa tecnologia e requer a disponibilidade das grandes áreas de implantação, as quais normalmente não existem nem são possíveis de adquirir. Contudo, tem sido efectuada em instalações dedicadas quase exclusivamente a resíduos sólidos urbanos, porém protagoniza uma fundamental desvantagem quando comparada ao processo de digestão anaeróbia, que consiste no facto de o processo de compostagem ser consumidor, isto é, importador de energia, ao passo que a digestão anaeróbia é um produtor (gerador) deste recurso através da libertação do biogás, permitindo a valorização energética do mesmo e melhoria considerável no equilíbrio dos custos.

3.3.4 Condicionamento

O condicionamento de lamas é um tratamento químico ou térmico utilizado para melhorar a eficiência do espessamento e desidratação. Segundo Sousa (2005), como função secundária desta operação é reconhecida a capacidade de desinfecção dos sólidos das águas residuais, o controlo dos odores, a alteração física dos sólidos e promoção da sua recuperação.

Condicionamento químico

Dos três métodos geralmente conhecidos e aplicados de condicionamento de lamas, o mais frequentemente utilizado é o condicionamento químico, por adição de produtos químicos inorgânicos ou polielectrólitos orgânicos sintéticos, cujo mecanismo de acção é a destabilização da carga iónica dos sólidos contidos na lama, permitindo a agregação das partículas pequenas em flocos maiores com subsequente libertação de água adsorvida.

Os produtos inorgânicos comuns para o efeito incluem:

- ✓ Cloreto de Ferro
- ✓ Sulfato de Ferro ou Ferroso

✓ Cloreto ou Sulfato de Alumínio + Cal

Estes produtos são usados principalmente para o condicionamento de lamas secundárias e/ou mistura de lamas primárias e secundárias. A desvantagem da aplicação dos produtos inorgânicos revela-se pelo facto de por cada quilograma do produto adicionado produzir-se um quilograma de lama extra, que tendo em consideração a gama de doses aplicadas de 100-200 kg/t MS, representa um valor considerável, segundo Gonçalves e Leitão (2001) acerca de 20-30%.

Os polieletrólitos orgânicos ou polímeros podem ser utilizados em todos os tipos de lamas e têm a vantagem de produzir incrementos menos significativos no volume de lamas. A quantidade de polímero adicionado pode variar entre 2 a 100 kg t⁻¹ MS, situando-se o valor geralmente aplicado nos 6 kg t⁻¹ MS (Kiely, 2001).

Os polímeros orgânicos são produtos sintéticos de cadeia longa, solúveis em água, sendo que, os tipicamente utilizados, poliácridamidas catiónicas, são de alto peso molecular, (cerca de 10⁶) e alta densidade de carga (Qasim,1999).

A dose necessária de polieletrólito é crítica para o funcionamento do equipamento de desidratação e influencia os custos da operação, pelo que é determinada em ensaios da estação piloto ou em laboratório, podendo variar consoante a alteração da qualidade da lama. Eleição do tipo de polieletrólito depende da tecnologia de desidratação aplicada, filtros prensa, banda, centrifugação, etc. (Metcalf e Eddy, 1991).

No Quadro 3-10 é apresentado um comparativo para os diversos tipos de condicionamento.

Quadro 3-10 Comparativo das vantagens associadas aos tipos de condicionamento de lamas de ETAR (Fonte: European Commission, 2001)

Tipo de Condicionamento	Vantagens	Desvantagens
Químicos Inorgânicos	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria da coesão das partículas e da densidade da lama 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da matéria seca - Redução do seu conteúdo em matéria orgânica - Processo lento - Aplicável só a lamas primárias ou à mistura de lamas: (primárias + secundárias)
Químicos Orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento reduzido do volume da lama - Não altera o seu potencial agrícola - Utiliza menores quantidades de produto - Fácil de manusear e transportar - Aplicabilidade em todo o tipo de Lamas 	<ul style="list-style-type: none"> Preço dos reagentes
Tratamento Térmico	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser aplicado a todo o tipo de lamas - Processo eficiente e estável - Estabiliza e desinfecta as lamas - Redução do volume de lamas 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumos energéticos elevados - Odores - Aumento da carga poluidora no permeado

Condicionamento térmico

É processado em autoclaves, sujeitando as lamas sob pressão fixa às temperaturas na ordem dos 200° C durante períodos de tempo variáveis, de 30 a 90 minutos, conseguindo-se com este tratamento a destruição da estrutura coloidal das lamas e a solubilização de algumas matérias em suspensão (Pita, 2002).

Este tipo de condicionamento é o menos utilizado devido a sua complexidade técnica e o rigor do controlo dos parâmetros, embora seja uma tecnologia recente e eficaz que consiste na aplicação simultânea de calor e pressão, alterando as características de desidratação das lamas.

Congelação

Embora a congelação tenha uma grande eficácia em termos de desidratação de lamas, é considerada uma solução muito cara, sendo por isso pouco aplicada (Pita, 2002).

3.3.5 Desidratação

Este processo representa a última operação na cadeia de tratamentos da fase sólida, (abordagem tradicional), e supõe a redução significativa do teor de humidade das lamas, em simultâneo com a diminuição do volume das mesmas, podendo em alguns casos, consoante o tipo do processo aplicado, atingir uma redução na ordem de 65%.

A remoção da humidade permite reduzir os custos relacionados com o encaminhamento das lamas para o destino final, pois os custos do seu transporte são directamente ligados ao peso/volume de lama e representa uma parcela considerável no custo global da operação de tratamento da fase sólida (Metcalf e Eddy, 2003).

São conhecidos e aplicados diversos tipos de processos para a desidratação de lamas, entre os quais, processos naturais, (baseados nos fenómenos de evaporação e/ou de percolação), ou processos mecânicos, (baseados em utilização de meios físicos), requerendo a utilização da energia externa (Metcalf e Eddy, 2003).

Em pequenas instalações, com recursos limitados, mas com disponibilidade de espaço é preferencial o uso de sistemas naturais de desidratação, nomeadamente leitos e lagoas de secagem. Em instalações de grande porte com espaços restritos, são usualmente empregues os dispositivos de desidratação mecânica.

Leitos de secagem

Método geralmente utilizado para o tratamento de lamas digeridas, com qualidade aceitável de lamas, após a desidratação, para a aplicação na agricultura como correctivo no solo.

Numa forma convencional é constituído por muros de retenção ou conjunto de tanques de forma rectangular (normalmente construídos em betão) que contém um meio poroso assente sobre um sistema de drenagem, isto é, camadas sobrepostas de materiais de diferentes granulometrias,

(areia, mistura de areia e cimento, outros). A superfície ao ar livre permite a evaporação, ao passo que por acção da gravidade e através do meio poroso e microcanais de drenagem é recolhido o filtrado (Kiely, 2001). Para que a operação de secagem das lamas decorra em boas condições, é fundamental que o meio poroso não esteja colmatado, para permitir o fácil escoamento da água.

Segundo Sousa (2005) sendo este um sistema de baixo custo e fácil manutenção, tem vindo a ser melhorado o seu desempenho, desde a possibilidade de incluir geossintéticos e outras alterações tecnológicas na sua construção. Como exemplo, de forma a facilitar o processo de espalhamento e recolha de lamas é vista a possibilidade de montagem de uma cobertura da instalação e exploração do aproveitamento do biogás, através de um sistema de condutas na sua base, para elevar a sua temperatura e acelerar o processo de evaporação. Para que o processo de desidratação ocorra a uma velocidade maior, é possível associar às placas do leito poroso uma câmara de vácuo. Após sofrerem a acção do vácuo as lamas ficam em repouso ao ar durante 24 a 48h e são retiradas dos leitos (Metcalf e Eddy, 2003).

Leitos de macrófitas

Segundo Sousa (2005), os leitos de macrófitas funcionam simultaneamente como sistemas de desidratação de lamas e sistemas estabilizadores. São formados por uma camada de solo e plantas onde é depositado o efluente a tratar. Este sistema é indicado para o tratamento simultâneo da fase líquida e sólida e não requer decantação prévia, sendo o tratamento do efluente totalmente efectuado no leito de macrófitas. Os leitos permanecem como receptor activo do efluente durante um ano, repousando no ano seguinte para a secagem e estabilização de lamas. O produto final sai estabilizado e enriquecido, por acção do solo e das raízes das plantas, com elevado valor agronómico. A desvantagem prende-se com a necessidade de utilização de uma área grande e a morosidade do processo.

Lagoas de Secagem

São idênticos aos leitos de secagem mas, neste caso, as lamas são colocadas a uma profundidade, três a quatro vezes, superior. Nas lagoas, a desidratação ocorre de três formas distintas: drenagem, evaporação e transpiração, sendo a evaporação o processo mais importante, pelo que as lagoas devem ser colocadas em locais com taxas de evaporação elevadas, mas fora das zonas urbanizadas devido aos odores exalados.

A par dos leitos convencionais, também as lagoas de secagem só podem ser aplicadas quando existe disponibilidade de terreno. Os parâmetros do processo estão dependentes de factores climáticos, como as precipitações atmosféricas e as baixas temperaturas (Metcalf e Eddy, 2003).

O período do ciclo de desidratação em lagoas pode variar entre 2 meses a 2 anos, dependendo de clima e de tipo de lama, que permanece no sistema até atingir os níveis de concentração de sólidos pretendidos, ainda assim relativamente baixos, 25 a 30%, (Kiely, 2001). Após a remoção mecânica das lamas a lagoa deve permanecer durante 6 meses em repouso.

Por este motivo devem ser construídas no mínimo duas células, de forma a atender aos períodos de limpeza, manutenção e situações de emergência (Metcalf e Eddy, 2003).

Entre os sistemas mecânicos de desidratação os que mais se destacam são os enumerados a seguir.

Centrifugação

Como foi descrito anteriormente, (ver espessamento), este processo envolve a aplicação de uma força centrífuga à mistura, que acelera a separação das fracções com diferentes densidades. A diferença principal entre as centrífugas do espessamento e da desidratação consiste na configuração do parafuso/espiral para a eliminação de líquidos e a localização e configuração da porta de descarga de sólidos (Pincince *et al*, 1998).

Para assegurar a eficiência do processo deve-se adicionar, antes do início da centrifugação, um polímero, que facilitará a agregação e a conseqüente sedimentação das partículas sólidas. Este polímero deve ser devidamente seleccionado pelo seu tipo e características específicas, (Pincince *et al*, 1998). A concentração de sólidos, conseguida com a operação de centrifugação, poderá variar bastante. A utilização de centrífugas poderá permitir atingir concentrações de sólidos na ordem de 30 a 35%. Esta concentração depende das características iniciais das lamas, do tipo e dosagem de polímero utilizado e também das características do equipamento utilizado. Na prática, têm-se registado concentrações da ordem de 20 a 25% (Gonçalves, Leitão, 2001). No entanto as necessidades de energia deste processo ainda são significativos, de 25 a 80 Kwh por t de MS (European Commission, 2001).

Filtração

A filtração consiste na passagem assistida de lamas por um meio poroso onde ficam retidos os sólidos que se pretende retirar. Os sistemas mais utilizados de filtros são o de filtro banda e o de filtro prensa. Os consumos energéticos médios estimados para esta operação são de 35 kW por t MS (European Commission, 2001).

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

O condicionamento das lamas é feito de modo eficaz com polímeros orgânicos (doseamento 4-5 kg polielectrólito por t de peso seco) conseguindo-se lamas desidratadas com concentrações de sólidos na ordem dos 25%, podendo atingir 35% no caso das lamas primárias digeridas e cerca de 15 a 20% para lamas secundárias. Posteriormente a lama é descarregada uniformemente sobre uma das telas onde, por gravidade, uma parte da água é drenada através dessa mesma tela. De seguida as lamas são comprimidas entre as duas telas com a ajuda de rolos e no final, comprimidas fortemente. As telas precisam de ser continuamente lavadas, pelo que os consumos de água são

importantes. É comum ser utilizado para o efeito, o efluente final da estação de tratamento previamente filtrado. Aqui, recorda-se a semelhança desta operação com um dos métodos de espessamento, abordado anteriormente, sendo que a diferença consiste na porosidade da banda.

O sistema por **filtro prensa** é, de todos os sistemas de desidratação convencionais, aquele que consegue atingir o maior grau de desidratação, chegando a alcançar em lamas um teor de sólidos entre 30 e 45% (European Commission, 2001).

Neste processo, a desidratação é conseguida submetendo as lamas a uma pressão elevada contra uma superfície filtrante. Existem diversos tipos de filtro prensa. Nos mais comuns, as lamas são introduzidas em câmaras formadas entre placas ou pratos colocados verticalmente lado a lado, fortemente apertados entre si, por sistemas hidráulicos. Sobre as duas faces das placas são colocadas telas filtrantes, normalmente feitas com fibras sintéticas, por onde a água sob pressão, extraída das lamas, vai passar, sendo conduzida através de ranhuras existentes nas placas para uma conduta comum, que também faz a colecta para o exterior do filtro. O regime de funcionamento deste equipamento é descontínuo, feito por ciclos, cuja duração pode variar entre uma a seis horas, dependendo de diversos factores, como qualidade das lamas, presença ou não de óleos e gorduras, tipo de pré-condicionamento das lamas, tipo de telas, estado de limpeza e conservação das telas, etc. (Pita, 2002).

3.3.6 Secagem Térmica

A secagem térmica é uma operação unitária que consiste na redução, por evaporação, do teor em água das lamas tratadas. Durante o processo de secagem as lamas são submetidas a elevadas temperaturas, superiores a 200° C, e a alta pressão. Nestas condições, este método pode englobar simultaneamente as operações de estabilização, condicionamento, espessamento e desidratação, embora na prática, todas as operações mencionadas constituam a fase de pré-tratamento para a consequente secagem térmica. O resultado deste ciclo de tratamento é um produto seco, com teor de 90-95% MS e livre de patogénicos, apresentando uma forma granular ou pulverulenta (Kiely, 2001).

Embora as lamas sejam submetidas à elevada temperatura, o valor desta temperatura, no seu limite superior, não é suficiente para atingir o ponto de destruição da matéria orgânica, pelo que é preservado o valor fertilizante das lamas (Sousa, 2005).

Este é um processo de operação relativamente dispendioso, pois implica emprego de combustível como fonte de energia para transferências de calor, bem como rigor acrescido na operação e manutenção do respectivo equipamento, porém, proporciona uma redução significativa do volume de lamas e a melhoria do seu estado físico, que se traduz em vantagens para o transporte e otimiza o seu armazenamento e comercialização.

Não obstante, atendendo ao facto de que o inconveniente do consumo elevado de energia pode ser ultrapassado obtendo-se a energia necessária a partir do biogás produzido durante a digestão das lamas, este novo método pelo qual as lamas podem ser secas, produzindo um granulado quase inodoro, oferece uma série de vantagens:

- ✓ Obtenção de lamas com cerca de 95% de matéria seca e respectiva redução do volume;

- ✓ Durante o processo de secagem as lamas são higienizadas, destruindo bactérias e vírus infecciosos;
- ✓ O granulado tem um elevado valor fertilizante (N e P) e durante o processo de secagem podem ser adicionados N, P e K para alcançar uma capacidade fertilizante total;
- ✓ O valor calorífico das lamas secas é equivalente ao da palha e da madeira, sendo desta forma utilizável como biocombustível;
- ✓ Quando utilizadas como biocombustível em substituição dos combustíveis fósseis, as lamas secas contribuem para uma redução das emissões de CO₂.

Os tipos de secagem térmica podem ser classificados consoante o princípio de transferência de calor utilizado, nomeadamente por condução, convecção, radiação ou uma solução mista (Metcalf e Eddy, 2003).

Contudo, para manter a proximidade com o âmbito desse trabalho serão caracterizadas apenas as principais técnicas e equipamentos associados, utilizados nesta etapa de tratamento.

O princípio de transmissão de calor por *convecção* está associado ao tipo de *secagem directa*, onde o agente térmico, geralmente gás proveniente de combustão, encontra-se em contacto directo e intenso com a lama. As técnicas de secagem directa que exploram este princípio, são os secadores de *tambor rotativo*, *secadores "flash"*, *secadores de leito fluidizado* e *de banda*.

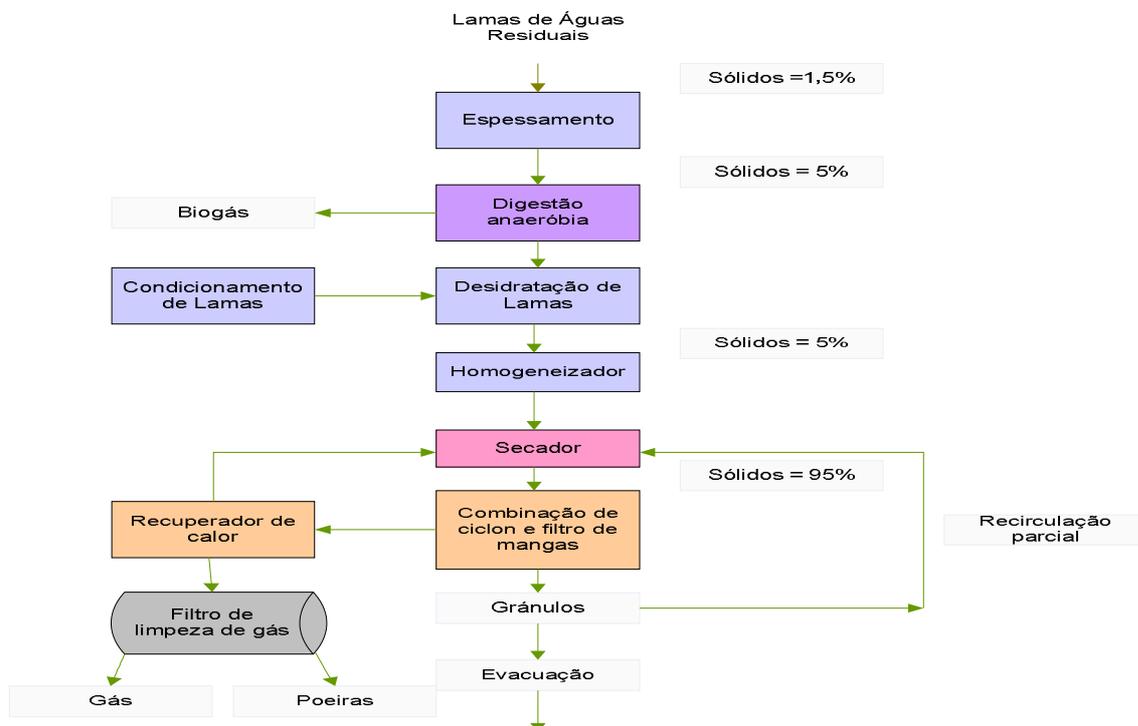


Figura 3-4 Diagrama do Processo de Secagem Térmica (Adaptado de Kiely, 2001)

O Secador de tambor rotativo representa um tambor cilíndrico em aço com rotação em torno do seu eixo com ou sem inclinação. A mistura de lamas (lama seca + lama desidratada), com teor de

humidade de 30 a 50% sendo reduzido logo a entrada é continuamente enviada para a tremonha do secador, onde entra em contacto com os gases quentes (à temperaturas de 260° a 460° C) e é permanentemente remexida no interior do tambor durante o seu transporte para a zona de descarga do secador. As lamas podem ser transportadas em co-corrente ou em contra-corrente relativamente ao fluxo de gases quentes, geralmente a uma velocidade limitada 1,2 a 3,7 m/s. Os gases de exaustão a saída, tendo uma temperatura de 65° a 105° C, são acompanhados para a filtração e desodorização. Este sistema tem sido eficiente no tratamento/secagem de misturas de lamas primárias e secundárias, bem como lamas activadas e lamas primárias digeridas, oferecendo ao produto final possibilidade de utilização como fertilizante ou correctivo de solos, podendo ser facilmente manuseado e/ou armazenado.

Nos Secadores tipo “flash”, Figura 3-5, as lamas desidratadas também são misturadas com as lamas secas de modo a reduzir o teor em humidade logo a entrada. Depois, a mistura de lamas

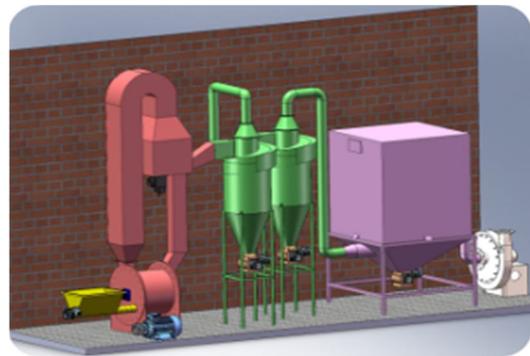


Figura 3-5 Secador Tipo “Flash” (Fonte: site do fabricante: <http://dryer.kurutma.net/>)

segue para a câmara de contacto com os gases quentes, (temperatura de 650 a 700° C), onde por agitação mecânica e evaporação é optimizado o processo de secagem. A lama seca, com teor em humidade de 8 a 10% é conduzida para um separador ciclónico, cuja função é a separação das partículas de lama dos gases de exaustão. Uma parte de lama seca, pode ser recirculada e misturada com as lamas desidratadas na entrada do secador.

De facto, o sistema da secagem tipo “flash” inclui várias etapas de trocas de calor e numerosos processos de manuseamento do material. O equipamento é sensível a acções mecânicas durante o processo de secagem, tal que, as abrasões severas provocadas pela lama seca poderão causar fracturas das superfícies sujeitas a trocas de calor. Os custos da operação também são relativamente elevados, o que constitui uma das outras desvantagens.

A lama seca, na qualidade do produto acabado deste processo, pode ser comercializada como fertilizante ou como aditivo do solo, embora o seu estado físico pulverulento condicione o armazenamento, manuseamento e comercialização, sendo susceptível de criar atmosferas perigosas e/ou explosivas na ausência das devidas medidas de segurança.

O Secador de leito fluidizado consiste numa câmara vertical estacionária, cujo chão perfurado promove a passagem de gases quentes. A alimentação do secador com lamas é feita a através de um orifício vedado ao ar. O gás quente (geralmente o ar) por meio de compressores é forçado a trespassar o leito. O leito perfurado proporciona deste modo uma distribuição uniforme do gás quente,

uma boa mistura e um bom contacto entre as fases sólida e gasosa. O produto acabado, lama seca, é evacuada por uma espécie de descarregador de superfície da câmara para uma tubagem pressurizada. Os gases utilizados no processo seguem para um separador ciclónico para o tratamento e/ou controlo de poluição do ar.

Um outro mecanismo de transferência de calor, por *condução*, está associado ao tipo de *secagem indirecta*.

Na secagem indirecta existe uma separação física entre a lama húmida e o meio de transferência de calor, usualmente vapor ou outro fluido quente. Neste caso a transferência de calor dá-se por contacto entre a lama e uma superfície aquecida (Godinho, 2009).

Os equipamentos de secagem indirecta, geralmente distinguem-se pela presença de uma cápsula no interior do órgão principal estacionário, através da qual é efectuada a circulação do agente térmico (líquido aquecido ou vapor). O interior do componente estacionário é munido com uma série de agitadores, que constituem uma superfície adicional de transferência de calor e promovem a mistura e progressão de lamas, cuja circulação se realiza no sentido único, em que a saída e a entrada são separadas. Estes equipamentos normalmente possuem uma construção robusta, em aço, inox ou carbono, visto poderem estar sujeitos a eventuais acções mecânicas por parte dos materiais e substâncias duras (pedras, metais) que possam ser arrastados juntamente com as lamas (Pincince *et al*, 1998).

Quanto aos tipos de secadores, que exploram o conceito de secagem indirecta, estes podem ser secadores: *de camada fina, de discos, de feixes, de banda (radiação), de pratos e de pás* (Farinha, 2003), citado por Sousa, (2005).

O Turbosecador de tecnologia VOMM integra a mesma lista, visto ser concebido com base no princípio de transferência de calor por condução, contudo, o seu princípio de funcionamento é mais complexo e será aprofundado em contexto da descrição da instalação em estudo, num dos capítulos subsequentes.

As necessidades energéticas do processo de secagem térmica são muito superiores aos da desidratação, quando comparado o volume de água extraída. Porém, estas necessidades podem ser fortemente reduzidas por recorrência a uma fonte disponível no local (biogás ou vapor).

No Quadro 3-11 está quantificada a carência média energética para o processo de secagem térmica.

Quadro 3-11 Carência energética no processo de secagem térmica (Adaptado de European Commission, 2001)

Fonte energética	Secagem parcial (35% de MS)	Secagem total (95% MS)
Combustível (L / t MS)	120	300
Electricidade (Kwh / t MS)	30	50

No entanto, o princípio de transferência de calor por *radiação* encontra-se na base de um outro processo de *secagem térmica*, cuja particularidade é a de exposição solar das lamas durante a secagem. Este é um processo menos mecanizado, quase natural, em que para a optimização do

efeito de secagem, podem ser utilizadas estufas como local de armazenamento das lamas. Desta forma é atingido um efeito adicional de estabilização das lamas, que dependendo das características climáticas da zona e do equipamento utilizado, promove também a sua higienização (Pincince *et al* 1998).

As particularidades comparativas dos processos de desidratação constam do Quadro 3-12.

Quadro 3-12 Comparativo dos métodos tradicionais de desidratação (Adaptado de Metcalf e Eddy 2003)

Método de desidratação	Vantagens	Desvantagens	Concentração sólidos
Centrifuga	<ul style="list-style-type: none"> - Aparência limpa, capacidade de reter odores, capacidade de iniciar e parar o processo rapidamente - Produção de um composto relativamente seco - Custo de investimento relativamente barato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes problemas de manutenção - Exige a remoção do grão formado e possivelmente, um moedor de lamas no seu sistema de alimentação - Necessários operadores especializados - Teor em sólidos suspensos moderadamente elevados 	20% - 25%
Filtro Banda	<ul style="list-style-type: none"> - Consumos energéticos reduzidos - Custos de investimento e de operação relativamente baixos - Processo mecânico pouco complexo e de fácil manutenção - Equipamentos de alta pressão são capazes de produzir um composto bastante seco - Não é complicado de terminar a sua operação 	<ul style="list-style-type: none"> - Emissão de odores - Necessita de um moedor de lamas no seu sistema de alimentação - Muito sensível às características das lamas - Operação automática, geralmente não recomendada 	12% - 30%
Filtro prensa	<ul style="list-style-type: none"> - Atinge o maior grau de desidratação - Boa retenção de sólidos 	<ul style="list-style-type: none"> - Custos do equipamento e operação são elevados - Necessita da renovação frequente das telas filtrantes - Necessita de equipamento de suporte especial - Necessita de grandes áreas para a sua instalação - Necessita de operadores especializados - Aumento da quantidade de sólidos pelas grandes adições de químicos - Operação "batch" 	35% - 45%
Leitos de Secagem	<ul style="list-style-type: none"> - Baixos custos de investimento, onde existe disponibilidade de terras - Não necessita de operadores especializados - Baixo consumo energético - Baixo consumo de reagentes - Pouco sensíveis às variações das características das lamas - Atinge desidratações superiores aos processos mecânicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessita de grandes áreas para a sua implementação - Só pode receber lamas estabilizadas - O seu dimensionamento e forma têm de ter em conta a zona geográfica - A remoção das lamas tem de ser manual 	40% - 65%
Lagoas de Secagem	<ul style="list-style-type: none"> - Baixos consumos energéticos - Não necessita de agentes químicos - A matéria orgânica atinge grandes graus de estabilização - Custos de investimento baixos, onde há disponibilidade de terras - É o sistema que necessita de menos manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial para criar odores a atrair insectos - Potencial para contaminar águas subterrâneas - Aparência desagradável - O seu dimensionamento tem de ter em conta os efeitos climáticos 	30%

3.3.7 Armazenamento e Transporte

Armazenamento

O correcto armazenamento pós-secagem torna-se muito importante para fazer face às oscilações do mercado de comercialização de lamas, sendo normalmente suficiente uma capacidade de armazenamento para cerca de 90 dias, que deverá ser efectuada em silos perfeitamente isolados do exterior (Godinho, 2009).

O armazenamento de lamas secas, com teor de humidade inferior a 10% e em espaços confinados, pode gerar atmosferas explosivas, visto que qualquer material susceptível de sofrer oxidação é capaz de explodir quando pulverizado e em suspensão no ar. Poeiras em suspensão no ar constituem, dentro de certos limites de concentração, misturas explosivas. Mesmo que a poeira não esteja em suspensão, mas formando uma camada sobre uma superfície sólida, o risco não está afastado, pois essas camadas podem sofrer uma combustão lenta, com elevada probabilidade de ocorrerem nelas reacções químicas exotérmicas que levem à auto-inflamação. Este problema pode ser resolvido com a redução da concentração de oxigénio por adição de azoto no silo ou recorrendo a peletização das lamas antes de armazenamento. Uma diminuição da relação superfície/volume por agregação das partículas de matéria orgânica suspensa irá impedir o aumento da temperatura do corpo, (grânulo de lama), em função do volume do mesmo, evitando por conseguinte uma auto-inflamação e eventual combustão (Ventura, 2002).

De acordo com os requisitos de segurança, deverão em todo o caso, os respectivos equipamentos de secagem e armazenamento ser munidos de sistemas de regulação e controlo de temperatura e pressão, válvulas de segurança e dispositivos de remoção de partículas ultrafinas (Directiva ATEX, 1999).

Transporte

O transporte das lamas é uma operação indispensável no processo de gestão das lamas de ETAR, dependendo na sua escolha essencialmente de factores como:

- ✓ Natureza (qualidade) da lama e a perigosidade, (resíduo perigoso ou não/Código LER);
- ✓ Quantidade e consistência da lama;
- ✓ Extensão e flexibilidade do percurso;
- ✓ Tipo de utilização da lama e a vida útil no local de destino;

Os tipos mais utilizados de transporte são:

- ✓ Por bombagem - adequado para lamas com concentrações de até 6% de MS, normalmente utilizado dentro da mesma instalação através de pontos, de partida e chegada, fixos.

- ✓ Por rodovia – tipo de transporte com maior flexibilidade, podendo ser adoptado por ETAR de pequeno e grande porte, para o envio de lamas de variadas qualidades e consistência e para todo e qualquer destino eleito.
- ✓ Por ferrovia – o menos utilizado, devido ao elevado investimento inicial e inflexibilidade do percurso, embora de relativo baixo custo quando realizado através de locais fixos de carga e descarga e possibilitando a operação de qualquer qualidade de lama.

Não obstante, em Portugal o transporte de lamas de depuração, considerado um resíduo correspondente ao código 19 08 05 LER, (Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março), encontra-se regulamentado pela Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio. Tendo isso em conta, o respectivo transporte, apenas poderá ser realizado pela entidade produtora dos biossólidos, pelo seu utilizador ou por empresas licenciadas para o efeito. O transporte deve ser efectuado em condições ambientalmente adequadas, cumprindo o plano de transporte (facultativo) e os requisitos estabelecidos para o acondicionamento da carga e procedimentos em caso de derrame.

3.4 Destinos Finais de Lamas de ETAR

3.4.1 Pressupostos para optimização da gestão de Lamas de ETAR

Os processos ou cadeia de processos de tratamento de lamas, caracterizados nos sub-capítulos anteriores (Figura 3-6 e 3-7) quando classificados de acordo com o seu carácter, i. e, biológico, químico, térmico ou integrado (este último constituído por combinações dos anteriores) podem originar um grau variável de qualidade final do produto tratado (lamas) podendo ser um produto estabilizado ou estabilizado+higienizado (WEF 1998, Schieder, 1999, Andreoli, 2001 citado em Duarte *et al*, 2005).



Figura 3-6 Processos biológicos de tratamentos de Lamas de ETAR (Fonte: Duarte *et al.*, 2005)

Nos processos integrados, o pré-tratamento visa a optimização do processo base e os pós-tratamentos visam essencialmente a higienização das lamas estabilizadas. A finalidade e eficácia destes processos e/ou tecnologias de tratamento de lamas de ETAR, de acordo com Duarte *et al.*, (2005), podem ser associados a um conjunto de critérios de avaliação infra enunciados.

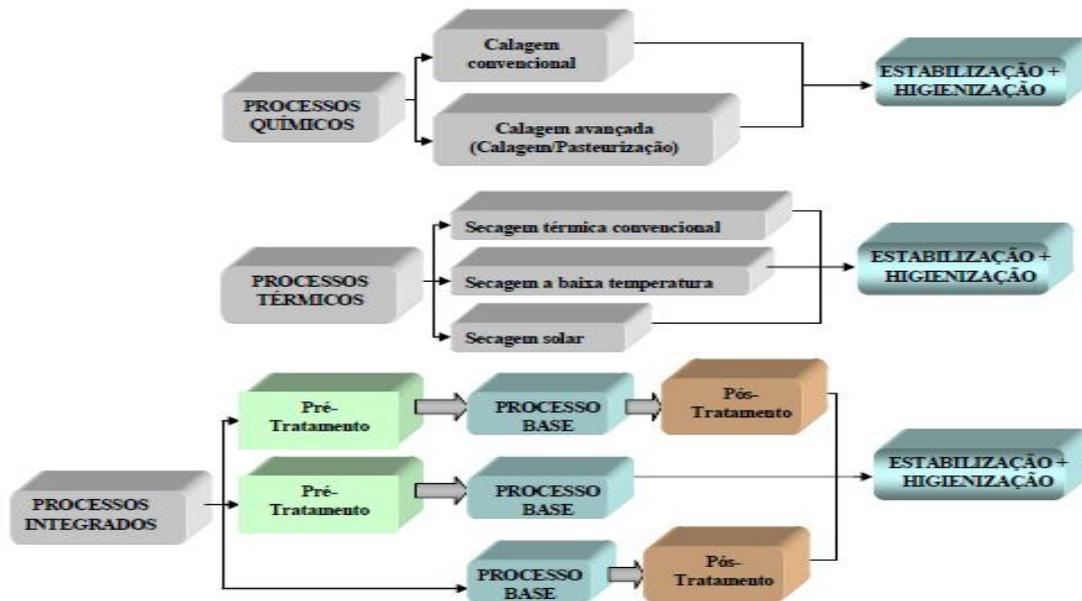


Figura 3-7 Processos integrados de tratamentos de Lamas de ETAR (Fonte: Duarte *et al.*, 2005)

- ☑ potencial de obtenção de produto de elevado valor económico;
- ☑ potencial de emissão de odores da tecnologia;
- ☑ balanço energético;
- ☑ recuperação de nutrientes;
- ☑ potencial para a formação de gases com efeito de estufa;
- ☑ potencial de integração de outros substratos orgânicos;
- ☑ exigências de reagentes e/ou materiais estruturantes;
- ☑ minimização da produção de bio sólidos gerados versus redução de custos de transporte;
- ☑ necessidade de pessoal especializado;
- ☑ necessidade de confinamento/tratamento da emissão de gases;
- ☑ custos de manutenção;
- ☑ custos de investimento, (subsídios ao investimento e área requerida para instalação);

A qualidade de lama, avaliada por abordagem alargada e/ou integrada dos critérios supracitados, envolvendo as vertentes: territorial, ambiental, social, jurídica, tecnológica e comercial, é decisiva na elaboração de um modelo adequado de gestão, visando os processos de tratamento aplicados e permitindo uma máxima optimização dos destinos de escoamento.

3.4.2 Escoamento de lamas tratadas

No que concerne aos destinos finais das lamas de ETAR tratadas, empregues actualmente, são conhecidas e praticadas a larga escala as seguintes soluções (dispostas de acordo com o princípio da hierarquia da gestão de resíduos):

- ✓ Valorização agrícola (aplicação directa / indirecta+compostagem);
 - ☑ Solos agrícolas (recuperação / melhoramento)
 - ☑ Florestas (recuperação de solos e /ou reflorestação);

- ☑ Estradas (recuperação/semteira de taludes) outras áreas verdes;
 - ☑ Recobrimento de aterros sanitários (recuperação paisagística);
 - ☑ Compostagem e/ou Co-compostagem com RSU.
-
- ✓ Construção civil (fabrico de tijolos ou cerâmica, incorpora 20% de lama);
 - ✓ Combustão e Co-combustão (valor calorífico para a produção de energia);
 - ✓ Incineração e/ou co-incineração/cimento (incorporação no cimento);
 - ✓ Deposição em aterros;

Cada um dos mencionados destinos finais, têm os seus input's, output's e impactes ambientais associados.

Deposição em Aterro

A deposição de lamas em aterro está em decadência “induzida”, tanto em Portugal como na maior parte dos países europeus. Com efeito, a tendência que se tem mantido ultimamente é a de limitar cada vez mais o depósito em aterros de materiais eventualmente recicláveis ou valorizáveis por outras vias, nomeadamente os resíduos orgânicos e, em particular as lamas de ETAR, com limite de redução, imposto pelo Decreto- Lei n.º 152/2002 de 23 de Maio, fixado em 50% em 2009 e 35% em 2016.

A deposição em aterro das lamas deverá apenas ser ponderada quando a presença de metais pesados ou substâncias tóxicas inviabiliza a sua valorização. Os riscos de contaminação das águas subterrâneas por lixiviação e a produção de odores desagradáveis, pela geração de condições anaeróbias e sépticas, bem como a produção de gases com efeito de estufa, exigem uma correcta monitorização de todo o processo.

Assim, a possibilidade do aterro como destino final das lamas de ETAR será cada vez mais reduzida e distante, sendo somente aceitável, quando inviabilizadas todas as outras opções situadas na ascendente hierárquica da gestão de resíduos (Figura 3-8).



Figura 3-8 Hierarquia das opções de tratamento dos resíduos (Fonte: MAOTDR 2007 b)

Incineração

O processo de incineração, embora represente, de acordo com alguns autores, um destino final de lamas de ETAR, não o será na íntegra, atendendo que no final, o processo gera um outro resíduo: as cinzas (Sousa, 2005). Assim, poderá ser vista esta opção como uma forma incompleta de eliminação do resíduo, ainda que seja um método que permita uma redução significativa do volume do material e origine a destruição dos organismos patogénicos e substâncias orgânicas perigosas, transformando a lama em cinzas. Cinzas estas, que deverão ser posteriormente submetidas a um tratamento complementar, findo qual poderiam ser incorporadas em alguns novos produtos, nomeadamente em materiais de construção, tais como, tijolos e/ou outros materiais cerâmicos.

Valorização Agrícola

As lamas, devidamente tratadas e tipificadas, quando garantam um conjunto de requisitos de qualidade para aplicação em solos agrícolas, podem designar-se biossólidos. Os biossólidos, de acordo com a regulamentação US EPA, podem ser subdivididos em duas classes, em função da presença de microrganismos patogénicos, os biossólidos de classe A e os biossólidos de classe B.

As lamas de depuração podem ser tipificadas em função dos processos de tratamento da fase líquida e dos processos de tratamento da fase sólida (Figura 3-9).

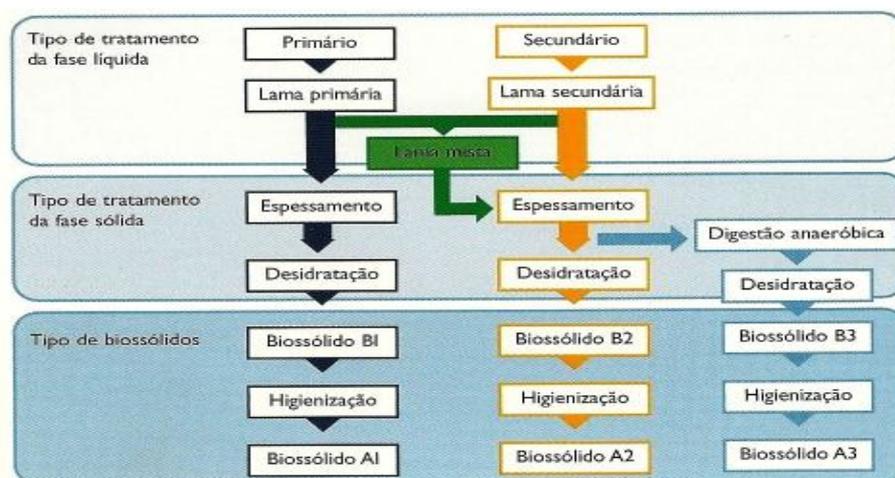


Figura 3-9 Classes de biossólidos em função dos tratamentos a que são submetidas as lamas (Adaptado de Dias, 2004)

Os biossólidos de classe A devem ser sujeitos a tratamentos que promovam a redução dos patogénicos para valores não detectáveis e os biossólidos de classe B devem ser sujeitos a tratamentos que promovam a redução dos microrganismos patogénicos para valores que não afectem a saúde pública e o ambiente em geral. O grau de segurança da aplicação dos biossólidos de classe A é desta forma, mais elevado (Dias, 2004).

Como foi referido anteriormente, o interesse acrescido da agricultura pelos biossólidos provenientes das lamas da ETAR devidamente tratadas, assenta fundamentalmente no potencial de

utilização da sua matéria orgânica e valorização do seu poder nutritivo.

A acção favorável dos bio sólidos como correctivo dos solos passa pela melhoria da estrutura do solo, aumento da sua estabilidade, bem como contribui para intensificação da capacidade de troca catiónica do solo, melhorando a actividade microbiana no solo com efeitos benéficos na dinâmica de alguns nutrientes, especialmente o azoto e o enxofre (Dias, 2004). A aplicação dos bio sólidos nos solos impulsiona o aumento da eficácia da adubação, origina inactivação de alguns metais pesados e, proporcionando um acréscimo de nível de matéria orgânica, melhora consideravelmente a fertilidade e produtividade dos solos tornando possível alargamento do campo da sua utilização para áreas como silvicultura, sobretudo na reflorestação de zonas consumidas pelos fogos florestais, recuperação de solos nas zonas de exploração mineira, jardinagem e cultivo de plantas ornamentais, obras de estabilização de taludes, revestimento vegetal da cobertura dos aterros sanitários e outras aplicações, assegurando a protecção contra a degradação erosiva.

No caso de Portugal, o uso de bio sólidos como fertilizante orgânico é considerado um destino final de eleição, uma vez que os solos agrícolas têm características manifestamente ácidas e são maioritariamente pobres em matéria orgânica.

Contudo, a classificação do próprio bio sólido é fundamental para o benefício da sua valorização agronómica. Os bio sólidos de classe A são os que oferecem maior nível de segurança devido ao seu elevado grau de higienização, determinando uma aplicação sem restrições como fertilizante.

Um dos métodos de higienização que assegura esta condição ao bio sólido, já tendo sido abordado anteriormente, é o de estabilização química com cal, porém, podendo ser modificado em calagem avançada com pasteurização (Andreoli, 2001). Neste caso será processado em reservatório fechado, exercendo a sua acção higienizadora por intermédio do aumento da temperatura até aos 70° C, pH elevado (12) e presença do amoníaco, libertado durante a reacção exotérmica, tecnologia EnVessel Pasteurization™.

Em regra, um dos inconvenientes da calagem, que se traduz em acréscimo dos custos operacionais, é a necessidade de utilização de elevadas doses de cal para a eficácia da desinfeção, com consequente aumento do teor dos sólidos, custos de transporte e limitação, (devido ao aumento do teor de cal na lama), nas taxas de aplicação.

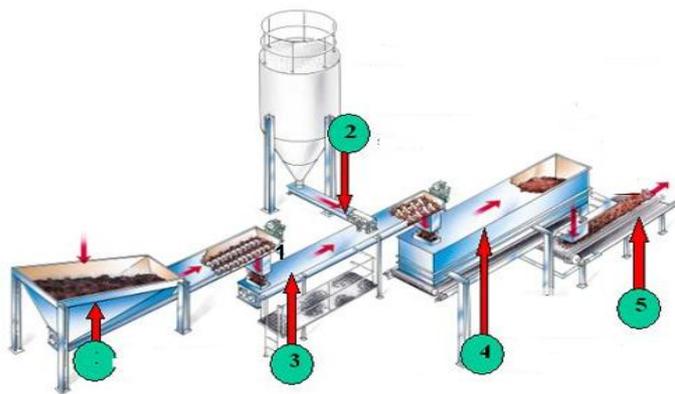
A título de exemplo, os custos da calagem convencional, incluindo os custos de investimento e de operação e manutenção, para uma ETAR com produção média de 3730 t de MS ano⁻¹, foram estimados por um estudo experimental, (Odegaard *et al.*, 2008) e representam os valores exibidos no Quadro 3-13, considerando para o caso uma taxa de investimento de 7% e depreciação média temporal de 20 anos.

Quadro 3-13 Comparativo dos custos de tratamento de lamas de ETAR (Adaptado de Odegaard *et al* 2008.)

Processos	Custo Anual Total, €	Custo Anual, € t ⁻¹ MS
Calagem de Lamas Desidratadas	243 210	62.2
Digestão Anaeróbia + Secagem Térmica	253 086	67.9

Na calagem avançada esta condição já não se verifica, visto que esta tecnologia permite o pré-aquecimento das lamas. A adição de calor reduz os custos operacionais, através da redução dos quantitativos de cal para obtenção da temperatura de pasteurização. A redução da quantidade de cal adicionada à lama aumenta o valor do produto final obtido, uma vez que a razão azoto/cal aproxima-se mais das necessidades agronómicas das culturas. Obtém-se ainda, um produto final mais rico em azoto, comparativamente à estabilização convencional com cal, possibilitando o incremento das taxas de aplicação por hectare e diminuição da área, aumentando assim o valor do produto no mercado (Agroges e ISA 2005).

O diagrama deste processo melhorado é apresentado na Figura 3-10.



1. Entrada de lamas para o pré-aquecimento (20°C).
2. Adição de cal viva a partir do silo de armazenamento a uma taxa proporcional à lama de alimentação.
3. Entrada para o Termomisturador para a mistura da lama com a cal e aquecimento até 70°C.
4. Descarga da mistura para o reactor de pasteurização e manutenção a 70°C durante aproximadamente 30min.
5. Saída do reactor e encaminhamento para o armazenamento do bio sólido higienizado.

Figura 3-10 Diagrama do processo de tratamento “RDP tech. EnVessel Pasteurization™”

Todavia, as lamas de ETAR, apesar de conterem muitos componentes de interesse agrícola, (matéria orgânica, azoto, fósforo e potássio, ou em menor escala, cálcio, enxofre, magnésio), também contêm poluentes, normalmente associados a metais pesados, compostos orgânicos e microrganismos patogénicos. Concentrações excessivas destes poluentes em lamas, bem como no solo, quando aplicadas, acarretam graves riscos para a saúde pública e ambiente em geral. Em cumprimento dos princípios de prevenção contra os riscos mencionados, a utilização agrícola dos bio sólidos está fortemente regulamentada por parte das directivas comunitárias, bem como pelas respectivas transposições para o regime jurídico interno, sendo o Decreto-Lei n.º 276/2009 de 2 de Outubro o mais recente desse âmbito.

Os princípios de reciclagem agrícola de lamas têm a ver, não apenas com a qualidade das próprias lamas, mas também, com as características dos solos e dos climas das regiões onde irão ser aplicadas, com os sistemas culturais e, ainda, com exigências de natureza legal (Dias, 2004).

A valorização agrícola de lamas de ETAR traz inúmeras vantagens, começando pela redução dos efeitos adversos na qualidade do ar exterior, causados pela incineração (impacte das emissões), diminuição da dependência de fertilizantes químicos e até a melhoria das condições para o balanço do CO₂ e aumento da matéria orgânica no solo (Florindo, 2009). Em termos globais, a aplicação de lamas no solo, poderá ainda influenciar a dinâmica do carbono atmosférico livre.

Não obstante, a origem das lamas, aliada ao complexo controlo das concentrações de metais pesados e/ou outras substâncias perigosas no solo durante ou após a aplicação, poderá eventualmente vir a minar a confiança dos consumidores, cada vez mais exigentes, nos produtos cultivados com auxílio destes biossólidos, levando a baixas de consumo e desencorajando consequentemente os produtores da utilização deste tipo de fertilizante.

Uma outra solução tecnológica inovadora, designada Plateau ASP, afirma-se capaz de responder a essas incertezas através de um método que se baseia num tratamento químico de esterilização, pasteurização e conversão em fertilizante orgânico das lamas provenientes de águas residuais, urbanas ou industriais.

O resíduo, (lama), é processado através dum sistema de reactores químicos, que assegura que 100% das lamas recebidas são esterilizadas e convertidas em fertilizante, menos de 1 hora após a recepção das lamas na unidade. A análise sistemática de amostras, colhidas ao longo do processo e no produto final, garante o controlo científico da produção, a segurança das unidades e a qualidade do fertilizante. A gestão do processo é automática, de base digital, com *software* e *hardware* exclusivos e executada por técnicos especializados.

Esta tecnologia possibilita a utilização integral da matéria orgânica disponível nas lamas e a sua inclusão num produto final com conteúdo significativo de macronutrientes e micronutrientes, impedindo ao mesmo tempo que sobrevivam quaisquer organismos vivos no produto final, bastando menos de 20 minutos para esterilizar a pasta por via do tratamento e retenção da matéria à alta temperatura durante o tempo necessário para satisfazer os critérios de esterilização estabelecidos pela legislação em vigor.

Todo o processo decorre em sistema fechado, sem queima de gases nem produção de odores, sem poluição atmosférica nem resíduos das reacções químicas, sem contacto físico ou visual com a matéria em tratamento e toda a matéria-prima é utilizada.

Uma instalação Plateau ASP (Figura 3-10) pode ser vista na perspectiva de produção industrial de fertilizante orgânico, bem como em conjugação com a resolução do problema ambiental de escoamento do resíduo, tendo em conta a poupança dos recursos naturais.

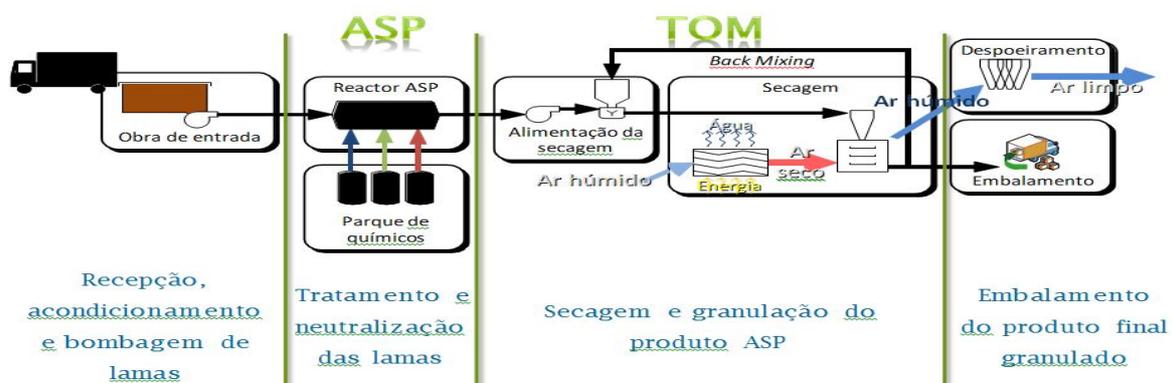


Figura 3-11 Sistema de tratamento de biossólidos Plateau (Fonte: Plateau ASP, S.A.)

Cada módulo Plateau-ASP tem capacidade para tratar lamas produzidas por 400.000 habitantes ou, mais concretamente, o equivalente a 20 toneladas de resíduo diário seco, uma vez que

esta tecnologia permite o tratamento de lamas de diversas origens.

A partir de àquela quantidade de lamas poderão ser produzidas 40 toneladas de fertilizante orgânico de alto rendimento. Sendo um sistema modular, constituído por vários segmentos pré-assemblados em laboratório, sobretudo é um sistema flexível que permite facilmente a duplicação de capacidade sem aumento significativo da área ocupada e com grande redução de custos em comparação com uma unidade convencional para tratar um volume equivalente de resíduo.

Segundo os técnicos do sistema, o mesmo é adequado para instalação em ETAR's urbanas e industriais, em funcionamento normal ou em processo de renovação/ampliação, assegurando a partida, para além das outras vantagens, rentabilização da exploração da unidade de tratamento.

O fertilizante Plateau é um *N-P-K* típico, (9,4 – 12,1 – teor variável/solicitado, micronutrientes e de 43 a 46 % de Matéria Orgânica), que contribui para a recuperação de solos através do progressivo incremento da actividade biológica natural. O referido teor em macronutrientes é um valor obtido em consequência do processo químico e não inclui os nutrientes adicionais contidos nas lamas residuais, devido à variabilidade que os caracteriza.

Co-combustão VS Mono-Combustão de LRU (CDR)

Portugal é um país com escassos recursos energéticos endógenos, nomeadamente, aqueles que asseguram a generalidade das necessidades energéticas da maioria dos países desenvolvidos, tais como o como o petróleo, o carvão e o gás natural.

A escassez de recursos fósseis conduz a uma elevada dependência energética do exterior (81,2% em 2009), nomeadamente das importações de fontes primárias de origem fóssil. Mediante este facto torna-se imperioso para o Portugal o aumento da contribuição das energias renováveis, nomeadamente, hídrica, eólica, solar, geotérmica, *biomassa* (DGEG, 2011).

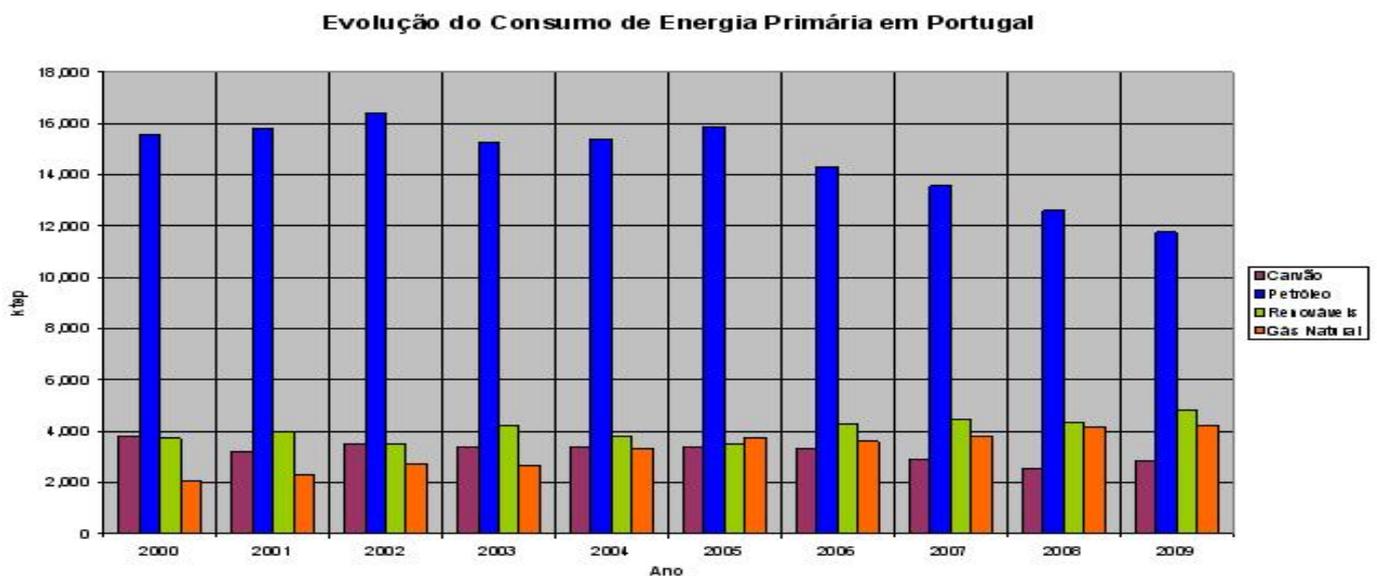


Figura 3-12 Evolução do Consumo de Energia Primária em Portugal (Fonte: DGEG)

O gráfico da Figura 3-12 mostra a evolução do consumo de Energia Primária em Portugal, no período 2000-2009.

O consumo de carvão, sobretudo, representou em 2009, 11,8 % do total do consumo de energia primária. Contudo, prevê-se uma redução progressiva do peso do carvão na produção de electricidade, devido ao seu impacte negativo nas emissões de CO₂.

Segundo o DGEG, é notório o crescimento da potência instalada em FER nos últimos anos para produção de electricidade. Especialmente em biomassa atingiu-se em 2009, 578 MW de potência instalada, sendo que no total, em 2009, foram produzidos 19316 GWh de energia eléctrica a partir de FER (Figura 3-13).

Nesta perspectiva a valorização energética das lamas de ETAR através do aproveitamento dos combustíveis derivados de resíduos (CDR), assume-se como um eventual destino alternativo de escoamento, uma vez que satisfaz as especificações da norma CEN/TS15359, e se enquadra nos critérios de hierarquização das soluções de tratamento e encaminhamento para o destino final de resíduos definidos no Artigo 3º da Directiva 91/156/EEC, de 18 de Março, embora a um nível inferior ao da valorização agrícola.

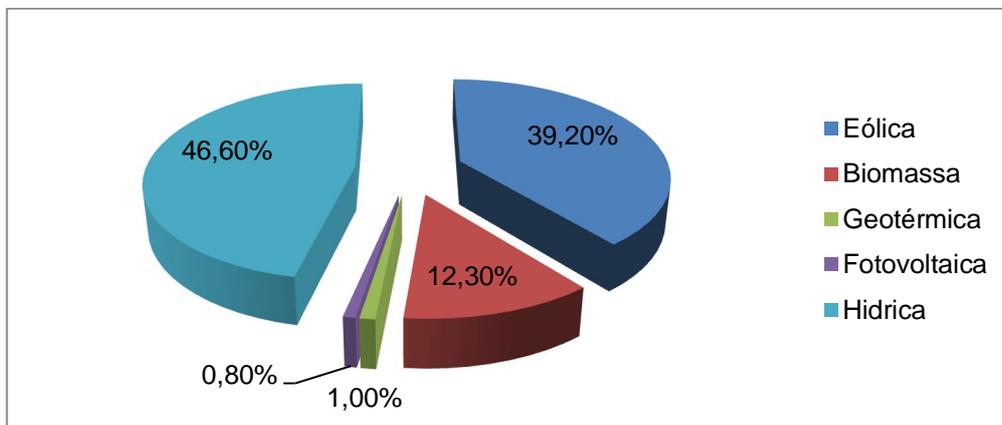


Figura 3-13 Energia Eléctrica produzida em Portugal, em 2009, a partir de FER (Fonte: DGEG)

O termo CDR é o análogo português do SRF, sigla que vem do inglês, *Solid Recovered Fuel*, e designa um combustível sólido com origem em resíduos (Archer *et al*, 2005) sendo um combustível heterogéneo com um elevado poder calorífico (Dunnu *et al*, 2006).

De acordo com a Norma pr CEN/TS 15359:2005 (E) o CDR (*Solid Recovered Fuel*) é definido como combustível sólido, preparado de resíduos não perigosos, para ser utilizado em unidades de incineração ou co-incineração, com recuperação de energia e que satisfaz as exigências de qualidade definidas na mesma norma (Godinho, 2009)

O CDR pode ser classificado quanto à sua origem e quanto à forma que adquire durante o processo de produção em *Fluff*, quando é um material solto, formado por partículas minúsculas e com baixa densidade, podendo ser pulverulento, *Pellets*, quando é um aglomerado de material solto, que adquire a forma de cubo, disco ou cilindro com diâmetro geralmente inferior a 25 mm e *Briquette*, quando também resulta da aglomeração de material solto, mas com a forma de bloco com diâmetro ou seu equivalente superior a 25mm (Dunnu *et al*, 2006).

Em termos qualitativos a Norma CEN/TC 343, elaborada pelo Comité Europeu de Normalização (Martinho *et. al*, 2006), elege três parâmetros fundamentais para a caracterização do

CDR: o PCI, o Cloro e o Mercúrio (CEN 15359:2006).

Estes combustíveis começam a ter uma relevância cada vez maior, com referência notável nos documentos regulamentares comunitários e internacionais, com destaque em particular para o Protocolo de Quioto e a Directiva das Energias Renováveis, que encorajam a substituição dos combustíveis fósseis por combustíveis alternativos (Garg *et al*, 2007).

A lista de potenciais utilizadores de CDR como combustível de substituição inclui as instalações termoeléctricas com caldeiras de carvão e outras indústrias com elevada carência energética, tais como, cimenteiras, indústrias produtoras de gesso, pasta e papel, indústria metalúrgica. O impacte ambiental positivo associado ao processo de combustão do CDR em contexto da produção nas indústrias supracitadas, assenta essencialmente na mitigação das emissões de CO₂, bem como na redução considerável de consumo de combustíveis fósseis.

O enquadramento, constituído pelas principais políticas e instrumentos regulamentares que afectam o uso de CDR nos sectores supracitados sofreram recentemente um impulso adicional através da Directiva Quadro de Resíduos (2008/98/CE) que com a recente transposição da nova Directiva Quadro dos Resíduos, através do Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, virá imprimir, através da reconfiguração do respectivo mercado, uma nova dinâmica à economia dos resíduos, estimulando o seu reaproveitamento e reciclagem, diminuindo a procura de matérias-primas e contribuindo para a modernização tecnológica dos respectivos produtores.

Em contexto desta doutrina, tratando-se de lamas de ETAR, enquadra-se a Recomendação ao Conselho de Administração da Águas de Portugal, SGPS, S.A., para a prossecução das orientações que lhe foram estabelecidas no Despacho n.º 6008/2009, de 23 de Fevereiro de 2009, do Ministro de Estado e das Finanças, impulsionando o reequacionamento da actividade da empresa Reciclamas, orientando-a para o aproveitamento do potencial energético dos combustíveis derivados dos resíduos (CDR) e das lamas de ETAR.

Contudo, em termos de infra-estruturas e no âmbito do fluxo específico das lamas de depuração, o PERSU II engloba apenas duas unidades de tratamento de lamas de ETA e de ETAR, que foram objecto de um estudo promovido pela Águas de Portugal, S.A., nomeadamente pela Empresa Reciclamas e pela sub-holding EGF – Empresa Geral do Fomento, prevendo-se o tratamento baseado no recurso à fracção combustível dos resíduos (CDR) como combustível principal. Prevê-se o processamento nestas unidades de um total anual de 188 000 toneladas de lamas, admitindo-se que o financiamento da construção destas instalações possa ser acordado no âmbito do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN 2007-2013) (Godinho, 2009).

Face ao exposto nas alíneas anteriores, a valorização energética das lamas de ETAR poderá constituir, mesmo que, de uma forma condicionada e num horizonte de médio a longo prazo, uma alternativa à valorização agrícola, nas situações em que esta não seja viável, constituindo, por outro lado, uma boa solução para o cumprimento da disposição legal de redução considerável das quantidades de lama destinadas a deposição em aterros.

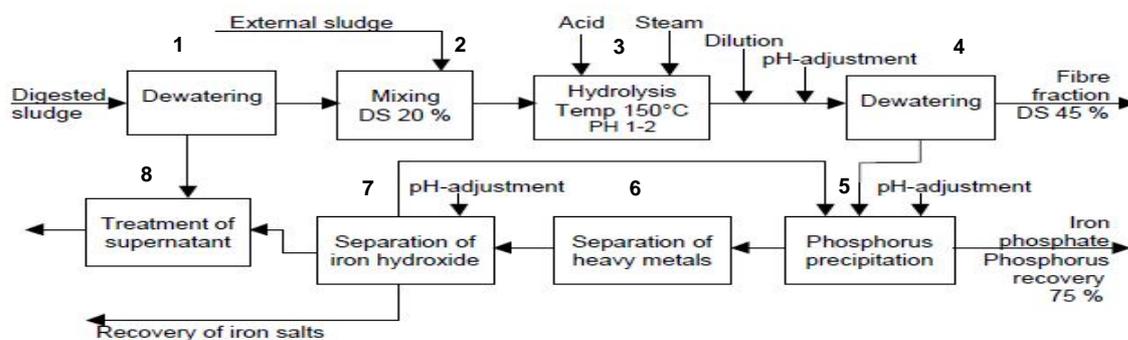
Não obstante, a complexidade do aproveitamento energético dos CDR, provenientes das LRU, prende-se ainda com uma questão substancial, que é “perda”, durante a co-incineração/co-combustão, de um dos mais valiosos nutrientes como o fósforo, sendo um enorme inconveniente, visto ele constituir um recurso limitado e não renovável.

Segundo Cornel e Schaum (2009), num processo dedicado de mono-incineração só é possível a recuperação do fósforo através das cinzas. Os custos de fosfato recuperado excedem os custos de exploração da rocha fosfática por várias vezes. Os custos adicionais de tratamento de águas residuais, através da integração e de recuperação de fósforo podem ser estimados, (intervenção na fase líquida/estruvite), quando projectados para as condições da Alemanha, em 2-6 Euros (1HE)⁻¹ por ano, segundo a mesma fonte. Em alguns casos a taxa de recuperação de fósforo a partir da fase sólida, segundo os mesmos autores, pode chegar aos 90%, porém até a data, só tiveram êxito relativo, algumas das várias tentativas de implementação do processo a escala industrial.

Ainda assim, é possível recorrer a algumas das MTD para a recuperação do fósforo, tecnologias essas, que foram desenvolvidas e aplicadas recentemente nos países do norte da Europa, com uma taxa relativa de remoção química e recuperação do fósforo em lamas desidratadas de até 75% (Karlsson, 2001) citado por (Robertsson, 2008).

A título de exemplo, veja-se o caso das tecnologias: Cambi/KREPRO (*Kemwater Recycling Process*), com recuperação de P a partir de lamas residuais digeridas e *Bio-Con* de *Chematur / Feralco*, com recuperação de P a partir de cinzas de lamas incineradas, as duas integrando uma cadeia de processos que consistem na dissolução de compostos de fósforo e metais, (ferro, cálcio ou magnésio), por utilização do ácido sulfúrico, seguidos por um sistema de recuperação do fósforo e dos agentes de precipitação (Karlsson, 2001).

O processo KREPRO, visto que a recuperação do fósforo se realiza a partir das lamas digeridas, suscita interesse para o caso em estudo, Figura 3-5, pelo que serão apresentadas, com algum detalhe as principais etapas de processo:



1. Entrada da lama desidratada; 2. Homogeneização; 3. Hidrólise; 4. Desidratação fracção orgânica não dissolvida (45 % MS); 5. Precipitação do fosfato de ferro; 6. Separação de metais pesados; 7. Recuperação dos sais de ferro; 8. Retorno para o tratamento do sobrenadante;

Figura 3-14 Diagrama do processo KREPRO
(Fonte: <http://www.nhm.ac.uk./mineralogy/phos/index.htm>)

a) Tratamento de lamas com ácido sulfúrico a um pH entre 1 e 3, de onde resulta uma fracção inorgânica parcialmente dissolvida, enquanto a fracção orgânica suspensa permanece praticamente intacta;

b) No segundo passo do processo, a fracção inorgânica é dissolvida por completo e cerca de 40% da matéria orgânica é hidrolisada, transformando-se num fluido biodegradável, tendo sido submetido posteriormente ao tratamento térmico de 140-150° C a pressão de cerca de 5 bar;

c) A fracção orgânica não dissolvida é desidratada de seguida, apresentando cerca de 45-50% ST, fracção esta, que será transformada em biocombustível;

d) A partir do fluido remanescente é extraído, por precipitação, o fosfato de ferro [FePO₄], utilizando o bicarbonato de sódio. Por centrifugação da solução é obtida a fracção de ST, com teor de cerca de 35 % de fosfato de ferro e praticamente isento de metais pesados, contendo cerca de 15% de P.

A água rejeitada durante o processo é retornada para a obra de entrada para o tratamento de metais pesados, que são precipitados em forma de sulfuretos e tratados como resíduo tóxico. Já a fracção orgânica remanescente (que é uma boa fonte de carbono para o passo de tratamento biológico) e o azoto, são devolvidos para um novo ciclo.

O fosfato recuperado desta forma, não pode ser utilizado na indústria química, mas é adequado como fertilizante, devido à pureza do precipitado. O fosfato de ferro é menos solúvel do que o fosfato de cálcio, pelo que esta propriedade faz com que o primeiro seja mais adequado para a fertilização da área florestal do que na agricultura tradicional (Hansen, *et al.*, 2000).

A grande desvantagem deste método é a quantidade elevada de reagentes químicos envolvidos no **input** do processo, fazendo com que aumente significativamente o custo da operação. Estima-se que para 1 t MS, haverá uma utilização de cerca de 200 kg de ácido sulfúrico, 200 kg de hidróxido de sódio, 12 kg de hidróxido de magnésio (ajuste pH), 390 kg de cloreto férrico e 2 kg de polímeros, correspondendo a um **output** de 500 kg de biocombustível, 350 kg de compostos orgânicos solúveis, 200 – 350 kg de cinzas e inorgânicos, 180 kg de fosfato férrico (Hansen, *et al.*, 2000).

Assim, a fracção orgânica destinada a aplicação como biocombustível apresenta após o tratamento, um interesse reduzido para a agricultura, uma vez que foram removidos os fosfatos, azoto e a matéria orgânica biodegradável. Contudo, a mesma, manifesta uma estrutura fibrosa com um elevado teor da MS (45-55% com teor de cinzas de 30%), e cujo PCI é de 6-8 MJ kg⁻¹, sendo igual ao das estilhas de madeira (Hansen *et al.*, 2000).

Os custos de investimento e exploração deste método foram estimados em 220 – 298 € por t de MS e são inferiores aos da desidratação convencional com teor de 25 % MS para fins de incineração (Karlsson, 2001) embora a viabilidade destes processos de reciclagem seja posta em causa pela superioridade considerável dos preços, por t de P, quando comparada com os preços da exploração da rocha fosfática (Roeleveld *et al.*, 2004).

Em apoio e desenvolvimento do conceito de aproveitamento energético dos CDR provenientes de LRU e admitindo a inexistência actual de infra-estruturas dedicadas para a mono-combustão, neste trabalho, procurou-se delinear uma alternativa viável, compatível com as instalações e equipamentos industriais disponíveis a nível nacional.

Nesse contexto, a co-combustão de LRU com carvão em leito fluidizado, apresenta-se como uma boa solução face aos outros sistemas de combustão, hipótese analisada e desenvolvida em vários estudos experimentais sobre o processo de co-combustão de carvão com resíduos (LRU).

Segundo Abelha (2005), os resultados da co-combustão de LRU até 50% em massa, quando misturadas com o carvão, (na qualidade de combustível principal), permitiram concluir que nas condições referidas, i. e para este tipo de instalação e mistura combustível utilizadas:

1. São respeitados os limites legais permitidos de HCl e de Hg;
2. As emissões de NO_x não aumentam apesar do teor em azoto nas LRU ser, neste caso, mais do dobro que no carvão;
3. A combustão em leito fluidizado é um sistema apropriado para a retenção *in situ* do SO₂ formado por adição de CaCO₃ e para operar com a elevada quantidade de cinzas das LRU;
4. A eficiência de conversão do combustível aumenta com a introdução dos resíduos;
5. A co-combustão de resíduos do tipo LRU permite reduzir significativamente as emissões de CO₂ de origem fóssil, demonstrando ser possível queimar uma fracção considerável de lama no combustível, sendo esta opção preferível à mono-combustão de LRU.

Assim, é aceitável concluir que a co-combustão em leito fluidizado poderá constituir uma boa opção para o encaminhamento das lamas de ETAR em detrimento da sua simples deposição em aterro, proporcionando melhores sinergias dos benefícios existentes na combustão dos dois diferentes tipos de combustíveis, aumentando a sua eficiência (Abelha, 2005).

3.4.3 Dinâmica e perspectivas da evolução a nível nacional e comunitário

A quantidade de lamas de ETAR produzidas actualmente e a tendência de aumento gradual desta quantidade, impõe adopção e implementação de soluções que assegurem a recuperação dos componentes valorizáveis em condições de mitigação de impactes negativos sobre o meio ambiente e saúde pública.

Em Portugal, segundo os dados da Agência Europeia de Ambiente foram produzidas lamas de ETAR, (período 2004-2006a.a.), 408710 t MS/ano, constituindo um rácio de cerca de 38 kg de MS per capita (European Commission, 2008).

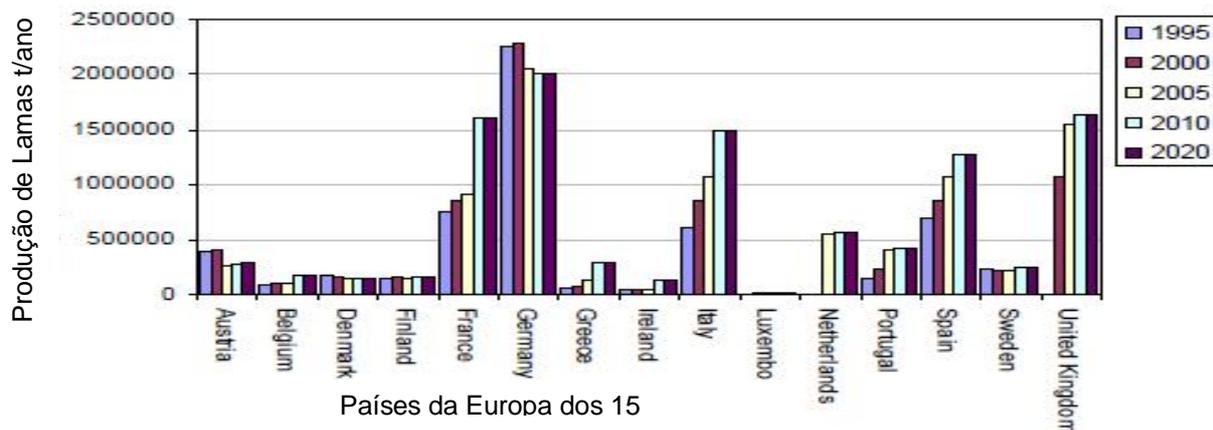


Figura 3-15 Dinâmica do desenvolvimento da produção de Lamas de ETAR no EU dos 15
(Fonte: European Commission, 2010)

Tendo em consideração a tendência de crescimento demográfico em Portugal, que segundo a previsão da (Eurostat, 2009), deverá situar-se nos 11.108.159 habitantes em 2020, contra os 10.569.487 habitantes actuais (INE, 2011) é perfeitamente expectável um ligeiro aumento face ao volume de lamas produzidas em 2010, valor projectado pelo Relatório da Agência Europeia para o Ambiente (Figura3-14) para o horizonte de ano de 2020.

Quadro 3-14 Estimativas de produção anual de lamas de ETAR e opções de escoamento na UE dos 15; Fonte: (Adaptado de European Commission, 2010)

Estados Membros	2010					2020				
	Lamas Totais tMS / ano	Valorização agrónómica, %	Incineração, %	Aterro, %	Outros, %	Lamas Totais tMS / ano	Valorização agrónómica, %	Incineração, %	Aterro, %	Outros, %
Áustria	273,000	15	40	>1	45	280,000	5	85	>1	10
Bélgica	170,000	10	90			170,000	10	90		
Dinamarca	140,000	50	45			140,000	50	45		
Finlândia	155,000	5			95	155,000	5	5		90
França	1,300,000	65	15	5	15	1,400,000	75	15	5	5
Alemanha	2,000,000	30	50	0	20	2,000,000	25	50	0	25
Grécia	260,000	5		95		260,000	5	40	55	
Irlanda	135,000	75		15	10	135,000	70	10	5	10
Itália	1,500,000	25	20	25	30	1,500,000	35	30	5	30
Luxemburgo	10,000	90	5		5	10,000	80	20		
Holanda	560,000	0	100			560,000	0	100		
Portugal	420,000	50	30	20		420,000	50	40	5	5
Espanha	1,280,000	65	10	20		1,280,000	70	25	5	
Suécia	250,000	15	5	1	75	250,000	15	5	1	75
Inglaterra	1,640,000	70	20	1	10	1,640,000	65	25	1	10
UE 15/ Total	10,153,000	43	29	11	17	10,260,000	44	37	4	15
UE 27/ Total	11,564,000	42	27	14	16	12,940,000	44	32	7	16

A produção de lamas, estimada para a UE-15, terá tendência de aumentar em cerca de 20%, podendo atingir 10,4 mil t MS em 2020 face ao 2010, ao passo que na UE-27 o incremento do volume de produção de lamas poderá permitir um aumento global de 12% referente a o igual período.

A quantidade do resíduo destinado ao encaminhamento para incineração seguirá a tendência de ligeira subida, $\leq 10\%$ (podendo significar o aumento da fracção para o aproveitamento energético através da combustão / co-combustão) contrariando a dinâmica da fracção dos aterros sanitários, que deverá reduzir o seu valor para metade.

Numa perspectiva geral, a análise desenvolvida revela que a utilização de lamas de ETAR para o melhoramento de solos na UE dos 15 não sofrerá alterações extraordinárias nos próximos cinco anos. Portugal em particular acompanha a propensão comunitária para o aumento percentual das quantidades de lama destinadas a valorização energética, sendo expectável a redução considerável, 15%, da parcela do aterro, seguido ainda de um ligeiro aumento, 5%, nos destinos não tradicionais, conforme apresenta o Quadro 3-14. Convergindo com a perspectiva de redução da fracção destinada

O Sistema de Saneamento da Costa do Estoril inclui 144 km de interceptores e emissários, dos quais, um interceptor geral, com cerca de vinte e cinco quilómetros de extensão total, de escoamento totalmente gravítico, dezassete emissários gravíticos, nove instalações elevatórias que bombeiam as águas residuais provenientes das zonas baixas junto à costa e que não apresentam possibilidade de ligação gravítica ao interceptor, uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) subterrânea e um emissário submarino com dois ramos difusores que lança as águas residuais tratadas a cerca de 3 km da costa à profundidade de cerca de 40 m, na zona da Guia, em meio receptor classificado como “zona menos sensível”, pelo Decreto-Lei n.º 198/2008, de 19 de Junho – Zona Menos Sensível do Cabo da Roca/Estoril (SANEST- Relatório e Contas, 2010).

A recolha, tratamento e rejeição final das águas residuais urbanas provenientes da Costa do Estoril abrange uma área de 220 km², que corresponde à totalidade do Município de Cascais, uma grande parte dos Municípios de Sintra e Oeiras e uma pequena parte do Município da Amadora, servindo actualmente 300 879 alojamentos (Figura 4-2).

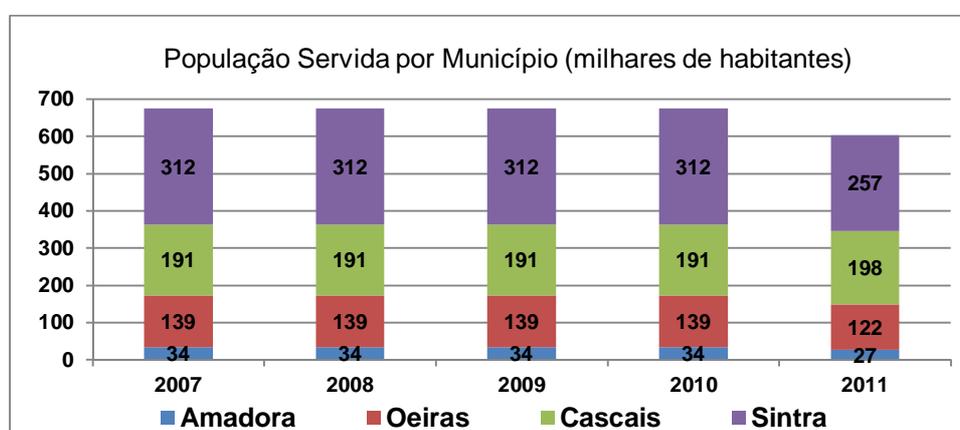


Figura 4-2 Evolução da População Servida pela ETAR ao longo dos últimos anos

A conformidade do funcionamento do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril e a severidade dos impactes ambientais associados a sua actividade, onde a descarga do efluente no mar através do emissário submarino da Guia surge com a maior significância, são vigiados por entidades independentes, de acordo com as recomendações comunitárias, através de um programa de monitorização ambiental. A Qualidade do Serviço é avaliada anualmente pela ERSAR e auditada pelas Entidades Certificadoras Acreditadas pelo IPAC.

4.1.2 Localização da ETAR da Guia

A ETAR da Guia está situada, como o nome revela, na localidade de Guia, no Concelho de Cascais, junto as instalações da ETAR antiga, sendo repartida porém, por manifesta falta de espaço, em dois locais de operação distintos, contudo representando o elemento chave do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril. A recente conclusão da obra de beneficiação do tratamento do

Sistema de Saneamento da Costa do Estoril, cuja realização efectivou o cumprimento da Decisão 2001/720/CE, traduziu-se na ampliação da antiga ETAR da Guia, concepção da nova Estação de Tratamento da Fase Sólida, bem como na criação de uma ligação em conduta (4km) entre estas infra-estruturas, localizado próximo do final da auto-estrada A5 (Figura 4-3).



Figura 4-3 Localização das infra-estruturas da ETAR da Guia (Fonte: Google Maps)

Assim, as instalações do tratamento da fase líquida das águas residuais situam-se junto à antiga ETAR (ETFL, Fig.4-3, 4-4) num terreno designado por **Muxacho**, já as do tratamento da fase sólida, resultante deste processo, (ETFS/lamas), situam-se num outro local, designado por **Outeiro da Lota**, na freguesia de Alcabideche, também no concelho Cascais.



Figura 4-4 Estação de Tratamento da Fase Líquida (Fonte: Cortesia SANEST)

A Estação de Tratamento da Fase Sólida é constituída por vários edifícios distribuídos à superfície, os quais encerram todos os equipamentos de tratamento, contudo apresentando um óptimo enquadramento paisagístico (Figura 4-3, 4-5).



Figura 4-5 Estação de Tratamento da Fase Sólida (Fonte: Cortesia SANEST)

4.1.3 Esquema de Tratamento na ETAR

O Processo integral de tratamento na ETAR apresenta-se com o seguinte layout (Figura 4-6)

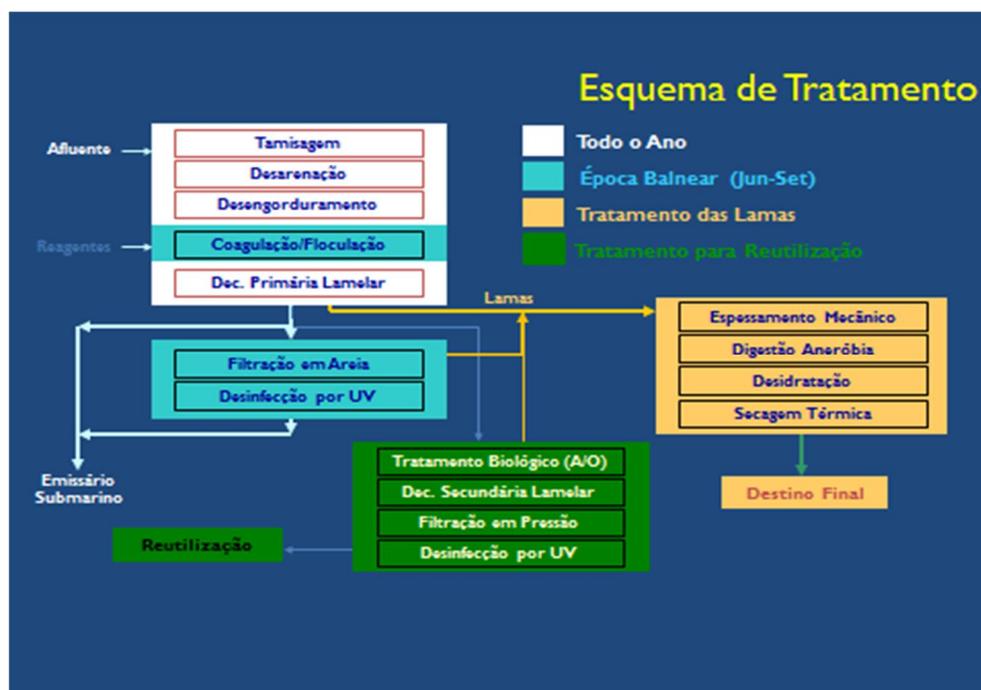


Figura 4-6 Diagrama linear de tratamento na ETAR da Guia (Fonte: Cortesia SANEST)

Linha de tratamento da Fase Líquida (ETFL)

- ✓ Pré-tratamento
 - ☑ Tamizagem
 - ☑ Desarenamento-desengorduramento
- ✓ Tratamento primário físico-químico
 - ☑ *Coagulação-Floculação com adição de reagentes, (Cloreto de Ferro e/ou Polieletrólito Aniónico)
 - ☑ Decantação primária lamelar
 - ☑ *Filtragem, (filtros gravíticos em areia)
 - ☑ *Desinfecção, (radiação UV)

- ✓ **Tratamento secundário (biológico de reutilização)
 - ☑ Decantação secundária lamelar
 - ☑ Filtração
 - ☑ Desinfecção

Linha de tratamento da Fase Sólida (ETFS)

- ✓ Bombagem, Recepção e Depósito com agitação para homogeneização das lamas
- ✓ Espessamento por centrifugação com adição de polieletrólito
- ✓ Digestão Anaeróbia (mesófila), com agitação por lanças de gás, aquecimento exterior e dosagem de cloreto de ferro para dessulfuração + produção de Biogás
- ✓ Desidratação de lamas por centrifugação, com adição de polieletrólito
- ✓ Secagem térmica por Turbo-Secador VOMM, (90 %) sicidade, com Co-geração

O início de funcionamento, em 2010, em regime de pré-arranque, da obra de beneficiação, possibilitou a partir deste ano a execução na Estação de Tratamento da Fase Líquida (ETFL) do tratamento primário (desengorduramento e decantação lamelar), complementado com adição de reagentes nas etapas de mistura rápida e floculação, bem como, durante a época balnear (01 de Junho-30 de Setembro) a filtração gravítica em areia e desinfecção por radiação Ultra-Violeta.

Para assegurar a qualidade requerida na reutilização em usos compatíveis, de uma parte dos efluentes depurados (rega de campos de golfe e outros) na ETFL foi concebido um tratamento adicional para um caudal efluente fixo (9.000 m³/dia) através de um processo de tratamento biológico, complementado por decantação lamelar, filtração em pressão e desinfecção por radiação ultravioleta.

A linha integral de tratamento incluiu ainda bombagem de lamas e água do processo desde a ETAR da Guia até ao Outeiro da Lota (ETFS). As particularidades dos processos de tratamento da Fase Sólida serão analisadas no capítulo subsequente.

** Executado só durante a Época Balnear, (01de Junho -30 de Setembro)*

*** Executado só para uma parte fixa de caudal afluente (9000m3) para efeitos de reutilização das águas tratadas*

4.1.4 Síntese dos principais Dados Técnicos da ETAR

Em continuação encontram-se descritas as características da ETAR da Guia com os parâmetros base, observados durante o período de estudo da Beneficiação do Tratamento do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril, bem como as estimativas (em valores nominais) para o limiar de viabilidade do projecto.

A avaliação e análise destas características permitiu associá-las aos processos de tratamento e ao volume e qualidade do resíduo gerado (lamas), determinando a elaboração do modelo adequado de gestão (Quadro 4-1).

Quadro 4-1 Dados Base de projecto da ETAR da Guia (Adaptado de SANEST, 2010)

Parâmetros	Período de Estudo (2010/2011)	Ano Horizonte (2020)
População Servida (H.E.)	757.425	920.000
Caudal Médio Anual (m ³ /dia)	157.985	172.000
Caudal da ponta (m ³ /h)	14.400	14.400
Carga CBO ₅ (kg/dia), média anual	45.446	50.300
Carga SS (kg/dia), média anual	44.330	45.780

4.2 Estação de Tratamento da Fase Sólida

4.2.1 Particularidades dos Processos de Tratamento

Bombagem - após a bombagem de lamas totais da Estação de Tratamento da Fase Líquida para a Fase Sólida, estas são depositadas, misturadas com as lamas das fossas sépticas e, após devidamente agitadas e homogeneizadas, encaminhadas para o edifício de espessamento.

Espessamento – em centrifugadoras de funcionamento contínuo (durante à época balnear e/ou 16 horas/dia no restante período), a lama espessada sendo extraída em contínuo pela acção do parafuso transportador interno. O líquido sobrenadante é descarregado no exterior da máquina pelos orifícios de descarga. O potencial de captura de sólidos no espessamento é considerado na ordem de 95 %. Os sobrenadantes das 4 centrifugadoras e a água de lavagem são encaminhados para a rede de sobrenadantes e drenagem, de onde se devolvem por gravidade directamente para a fase líquida. O controlo de caudal unitário é feito através dum caudalímetro situado na tubagem de impulsão das bombas para as centrifugadoras.

Acondicionamento - químico das lamas com a adição do polielectrólito diluído melhora a eficácia das centrifugadoras. Este processo é assegurado por uma instalação automática constituída por equipamento de doseamento em contínuo de aço inoxidável Aisi-304, dois electroagitadores, dispersador

parafuso doseador volumétrico de polieletrólito em pó. A câmara de recepção de lamas é concebida com tempo de retenção suficiente para regulação, e está dotada de 2 agitadores de potência suficiente para evitar sedimentações. Em seguida as lamas são impulsionadas (3 bombas de parafuso helicoidal) para a digestão anaeróbia.

Digestão Anaeróbia - um processo do tipo mesófila, em 3 digestores cilíndricos, com agitação por lanças e aquecimento exterior. Foi concebido para o tempo de retenção de sólidos, superior a 15 dias, tendo-se adoptada a carga dos sólidos voláteis entre os valores de 1,07 a 1,71 kg/m³/dia. Os 3 digestores são intercomunicáveis, (transvaze e esvaziamento de lamas), entre si por intermédio de vários dispositivos, (válvulas, bombas, caixas de tomada de amostras e etc.), sendo o volume total útil de cada um de 7.168 m³. A redução dos sólidos voláteis em condições normais assume-se na ordem de 40 % e a produção de biogás, na ordem de 0,9 m por cada kg de sólidos voláteis eliminados. A boa mistura no processo é garantida por meio de lanças de gás, (24 unidade instaladas/ 60 Nm³/h cada). O gás é lançado através dos compressores (1/digestor). A temperatura constante de digestão, 35° C, é mantida por um isolamento eficaz dos digestores, bem como por um conjunto de equipamentos (caldeiras, bombas de recirculação e aceleração, depósitos de expansão, etc.) que constituem a instalação de aquecimento das lamas, actuando de forma a compensar as perdas do sistema com fornecimento do calor. O calor é obtido ao recircular as lamas para intercâmbio com fluido (água previamente aquecida por passagem no sistema de refrigeração dos motores de gás) na instalação de cogeração, podendo também ser aquecida por caldeira.

A instalação de preparação de leitada de cal (silo de cal de 30 m³ + 2 bombas doseadoras) situada no edifício de espessamento, é utilizada para realizar o ajuste de **pH** da lama, em caso necessário, antes de passagem para a digestão.

A **Dessulfuração** para protecção dos motores de gás é feita por doseamento do cloreto de ferro nas lamas, antes da digestão, numa instalação especial.

A fim de equilibrar a produção de lamas com o funcionamento descontínuo da desidratação, estão a ser utilizados 2 depósitos de armazenamento das lamas digeridas, (tipo depósitos pulmão), cobertos, com o diâmetro de 12 m e altura total de 4,80 m., equipados com um sistema de agitação que permitem um tempo de retenção superior a 20 horas.

O Biogás - produzido no processo de digestão anaeróbia é armazenado, para utilização como combustível, nas caldeiras do circuito de aquecimento e/ou nos motores de gás, incluindo um circuito de by-pass, para queima do biogás em excesso.

Desidratação - processa-se por intermédio de 4 centrifugadoras, até aos 25% de secagem, com acréscimo de polieletrólito e aquecimento prévio da lama até 65° C num intercambiador de calor água-lama. A lama desidratada nas centrifugadoras é recolhida e encaminhada para os 2 silos de armazenamento, que estão dotados de uma comporta de dupla descarga para carga de camiões ou para carga dos parafusos de alimentação da secagem térmica que estão munidos de variador de frequência para controlo do caudal.

Secagem Térmica - dimensionada para obter uma secagem de 90% de matéria seca. A lama é transferida pelo doseador, de forma constante e controlada, para o secador. O Turbo-Secador VOMM (Fig. 4-7) é composto por um módulo cilíndrico horizontal com duplo envelope, no interior do qual gira a turbina e circula um fluido de aquecimento. As lamas introduzidas no secador são centrifugadas ao longo



Figura 4-7 Instalação integral do Turbo-Secador VOMM (Fonte: Cortesia ETAR da Guia)

da parede quente onde avançam em contínuo em movimento turbulento sob a forma de uma camada fina. A espessura da camada e a sua turbulência permitem obter uma secagem por condução rápida e com um excelente rendimento. A fim de completar a desidratação, um gás quente é introduzido ao mesmo tempo no secador co-axialmente ao produto. A tecnologia permite assim associar uma secagem por convecção a uma secagem por condução.

O permutador de aquecimento dos vapores em circulação no circuito fechado é composto por uma caixa constituída por dois conjuntos de tubos e lamelas nos quais circula o fluido de aquecimento (óleo térmico, 280° C) e através dos quais passa o gás a aquecer antes de ser reintroduzido no secador.

O circuito de óleo térmico é aquecido de duas formas complementares; a) mediante o recuperador de calor dos gases de escape dos motores de gás; b) através das caldeiras de óleo térmico que utilizam gás natural ou biogás como combustível. Cada caldeira tem uma capacidade calorífica de 2.500.000 kcal/h e está dotada de queimador com dupla rampa gás natural/biogás assim como de uma chaminé comum de gás de combustão com 15 m de altura. Cada linha, das duas instaladas actualmente, dispõe de um tanque de recolha de óleo térmico do circuito num ponto baixo e de uma bomba comum de transvaze.

A separação ar húmido / produto desidratado realiza-se na saída de secador por um ciclone.

O produto seco, (90%), é enviado para o dispositivo de compactação, (peletização). A separação ar húmido / produto desidratado realiza-se na saída de secador por um ciclone.

A fim de conservar uma pressão constante no circuito hidráulico, a água evaporada sob a forma de vapor é extraída do circuito fechado através de uma válvula de controlo para ser condensada na coluna de condensação. Na saída da coluna de condensação, o ar é enviado pelo ventilador para a unidade de desodorização.

Ratios de Consumo (Secagem Térmica) - A capacidade unitária disposta é de 84.000 kg/dia. O consumo térmico específico total é de 780 Kwh por cada tonelada de água evaporada. Consumo de energia eléctrica total na secagem térmica e acessórios complementares é de 13.915,58 Kwh/d. Água evaporada: 7000 Kg/h =168 T/d. Ratio energia eléctrica total: 82,8 Kwh/t água evaporada.

A secagem térmica funciona em contínuo, 24 horas por dia 7 dias por semana. As operações de manutenção são realizadas durante a estação não balnear onde só funciona uma linha. Toda a instalação é concebida de forma a cumprir os requisitos da norma ATEX 94/9/CE.

Os "pellets" formados a partir de lama seca no dispositivo de compactação são transportados e arrefecidos numa rosca de arrefecimento que os deposita num elevador de alcatruzes, que por sua vez os eleva até á entrada dos silos de armazenamento de lama seca. Um dia de funcionamento da unidade de secagem completa uma carga nos 2 silos de 60 m³.

Auto-Geração de Energia - A instalação de cogeração baseia-se no aproveitamento do poder calorífico do gás (5.500 kcal/Nm³) para alimentar os motores de gás com produção de energia eléctrica e aproveitamento do calor do circuito de refrigeração. Estão em funcionamento contínuo (333 dias/ano) 3 módulos, formados cada um por motor de gás e alternador, sendo que um destes 3 motores, dispõe de dupla rampa de combustível gás natural/biogás (independente, sem mistura destes gases) e outros dois têm só rampa de gás natural. A instalação trabalha com dois circuitos de recuperação de calor, sendo um, a "baixa temperatura", aproveitando o calor da água de refrigeração dos motores e outro, a "alta temperatura", aproveitando o calor dos gases de escape. O calor do circuito de "alta temperatura" é utilizado na secagem térmica. Os gases de escape saem à temperatura de 401° C e são conduzidos directamente para o intercambiador de óleo térmico da secagem térmica. Se este não funcionar, os gases de escape saem pelo tubo de escape dos motores, dotado do seu correspondente silenciador. O calor do circuito de "baixa temperatura" é aproveitado para o aquecimento das lamas para digestão e para desidratação. A água sai deste circuito à temperatura de 90° C e passa pelo intercambiador de placas do circuito principal saindo do mesmo à temperatura de 82° C, sendo posteriormente impulsionada para o circuito de aquecimento de lamas, (desidratação e digestão).

Cada módulo de motores debita uma potência máxima unitária de 957 Kw, o que significa um total de 2.871 Kw. A tensão de geração é de 400 V.

Os cálculos do Projecto da instalação sugerem que não existe qualquer hipótese de venda de energia eléctrica durante a etapa não balnear. Durante a época balnear a situação é diferente, onde é possível criar um excedente energético de 4.229.038 Kw-h/ano, que poderia ser fornecido a rede exterior, embora a venda seja condicionada á existência das autorizações prévias oficiais. A produção teórica está quantificada com base no cálculo do mesmo Projecto em 5.120 horas anuais de cogeração na etapa não balnear e 2.880 horas anuais na etapa balnear.

4.2.2 Tipologia das Lamas geradas na ETAR da Guia

A recolha e análise de amostras de lamas produzidas na ETAR é uma componente crucial da avaliação dos processos de tratamento tendo em conta a correspondência dos parâmetros reais face aos valores pretendidos para os efeitos de controlo da eficácia tecnológica, bem como da escolha acertada das possíveis vias de escoamento em cumprimento dos princípios de gestão sustentável e dos requisitos legais vigentes. Dessa avaliação deverá resultar uma adequada qualificação do produto, obtido por depuração das águas residuais, visando a optimização da sua valorização e determinando o destino final a atribuir. Nos quadros a seguir são apresentadas as características qualitativas das lamas geradas na ETAR da Guia durante o período de estudo.

Quadro 4-2 Valores dos parâmetros das amostras de Lama da ETAR da Guia

Parâmetro	Unidade de medida	Ano 2010	Ano 2011	Valores limite (DL 276/2009)
pH		7,7	7,8	-
Humidade a 105°C	%	71,4	78	-
Matéria Seca a 105°C	%	28,6	22	-
Matéria Orgânica	% de MS	58,4	61	-
Azoto Total/Kjeldahl (N)	mg kg ⁻¹ de MS	37x10 ³	34x10 ³	-
Azoto Nítrico (NO ₃)	mg kg ⁻¹ de MS	10	2,4	-
Azoto Amoniacal (NH ₄)	mg kg ⁻¹ de MS	6,3x10 ³	2,2x10 ³	-
Fósforo Total (P)	mg kg ⁻¹ de MS	29x10 ³	29x10 ³	-
Potássio Total (K)	mg kg ⁻¹ de MS	1,1x10 ³	1,3x10 ³	-
Magnésio Total (Mg)	mg kg ⁻¹ de MS	3,4x10 ³	3,8x10 ³	-
Cálcio Total (Ca)	mg kg ⁻¹ de MS	53x10 ³	40x10 ³	-
Cádmio (Cd)	mg kg ⁻¹ de MS	<3 (LQ)*	<3 (LQ)	20
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹ de MS	233	163	1000
Níquel (Ni)	mg kg ⁻¹ de MS	27	16	300
Chumbo (Pb)	mg kg ⁻¹ de MS	71	44	750
Zinco (Zn)	mg kg ⁻¹ de MS	2,2x10 ³	1,2x10 ³	2500
Mercúrio (Hg)	mg kg ⁻¹ de MS	1,0	0,67	16
Crómio (Cr)	mg kg ⁻¹ de MS	79	38	1000

* - Limite de Quantificação

As análises apresentadas foram realizadas nos Laboratórios credenciados para o efeito.

O quadro 4-3 apresenta os valores obtidos na análise microbiológica.

Quadro 4-3 Análise Microbiológica de Lama da ETAR da Guia

Parâmetros	Unidades	Ano 2010	Ano 2011	Valores limite
Escherichia coli	NMP/g	17200	393000	<1000
Pesquisa de salmonella spp	ufc/g	Presente/50g	Ausente	Ausente

4.2.3 Avaliação qualitativa das Lamas geradas e metodologias usadas

As análises físico-químicas parciais das lamas, bem como os ensaios de incubação, foram realizados nos laboratórios do Departamento de Química Agrícola e Ambiental do ISA, de acordo com as metodologias descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (Clesceri, 1998) no Guia dos Métodos de Análise Laboratorial (Cunha-Queda, 2011), Protocolo dos Trabalhos Laboratoriais Tratamento de Efluentes (Duarte e Cunha-Queda, 2003/2004).

As amostras analisadas foram constituídas por lama maioritariamente primária com um traço de lama biológica/secundária (resultante do tratamento de reutilização de águas residuais, até 6% do volume da primária) em estado digerido e desidratado.

Para a avaliação do “potencial valor fertilizante”, i. e, da capacidade do resíduo de ceder os macronutrientes principais ao solo após a incorporação no mesmo, teve-se em conta a sua composição e os resultados de um ensaio de previsão da disponibilidade de azoto N, recorrendo a metodologia definida por Bundy e Meisinger (1994): uma incubação laboratorial anaeróbia a 40°C durante 7 dias.

Quadro 4-4 Modalidades, Elementos e Quantidades no ensaio de mineralização do azoto

Modalidades	Fases do ensaio							
	Início da incubação (0 dias)				Fim da incubação (40° C), (7 dias)			
	Constituição de cada 1 dos 5 reactores				Constituição de cada 1 dos 5 reactores			
	Solo	Lama	Água	KCl(4M)*	Solo	Lama	Água	KCl(4M)*
Solo sem lama	5 g	-	20 ml	Extracção com 20 ml**	5 g	-	20 ml Condição de anaerobiose	Extracção com 20 ml**
Solo com lama (5reactores/fase)	5 g	0,1-015 g	20 ml	Extracção com 20 ml**	5 g	0,1-015 g	20 ml Condição de anaerobiose	Extracção com 20 ml**

* 20ml de água+20 ml de KCL(4M) em cada reactor corresponde a 40 ml KCL(2M)

** No final de cada uma das fases procedeu-se a extracção e quantificação do azoto mineral em ambas as modalidades

Neste ensaio foi utilizado um Solo Podzolizado colhido no posto experimental de Pegões, classificado como Podzol não hidromórfico, sem surraipa de areias (Ap) [Classificação Portuguesa]; ou como Arenossolo Háplico (Dístrico) [Classificação da FAO; WRB, 2006], cujas características granulométricas e a análise química constam do Anexo II, Quadro ii-i.

De acordo com o método de ensaio aplicado, ao fim de 7 dias, quantificou-se o azoto amoniacal (NH_4^+) do solo nas duas modalidades (com resíduo e sem resíduo). Não havendo nitrificação em condições de anaerobiose, constatou-se não ter havido formação de nitratos. Para os efeitos de cálculo, a diferença entre o N amoniacal (NH_4^+) nas duas modalidades determinou a quantidade do azoto que potencialmente será disponibilizado para a cultura a partir do resíduo aplicado. Os valores obtidos na incubação estão apresentados no Anexo III (Quadro iii-i).

Os resultados obtidos no ensaio de previsão da disponibilização do azoto, veiculado pelas lamas para as culturas, indicam uma estimativa de 1,13 g de N-NH_4^+ por 1 kg de lama, correspondente a 5,13 g de N-NH_4^+ por 1 kg de matéria seca (MS). Assim, o azoto potencialmente disponível (NPD) para a cultura a afectar corresponde a 15,1% do azoto total existente na lama e, conseqüentemente 84,9% do azoto presente na lama não ficará disponível. Desta forma o azoto total veiculado por cada tonelada de lama é estimado em 7,48 kg t^{-1} e inclui 1,1 kg t^{-1} de azoto potencialmente disponível. Segundo Dias (2004), a proporção entre as duas formas do azoto varia muito com os processos de tratamento das lamas, os mesmos constituindo também um factor determinante para a taxa de mineralização do azoto orgânico. Refere-se geralmente uma taxa de mineralização do azoto orgânico na ordem de 20 - 40% no 1º ano de aplicação do biossólido após o tratamento por digestão anaeróbia (Dias, 2004). É assim, atendendo ao predisposto, de admitir que a baixa percentagem do azoto potencialmente disponível, obtida através do ensaio aplicado, provavelmente tenha sido uma consequência do facto de a lama utilizada ser maioritariamente primária.

Para uma melhor percepção do potencial nutritivo das lamas em estudo, recorreremos a um exemplo hipotético de fertilização azotada de uma cultura com uma dose de N disponível de 50 kg por 1 ha, na adubação de fundo, (INRB, 2006) assumindo que esta seja a quantidade tecnicamente correcta, após a consideração da quantidade de N, proporcionada por outras fontes (Dias, 2004).

A quantidade da lama aplicada, neste caso, deveria ser de 44,2 t ha^{-1} ou, cerca de 10 t ha^{-1} em MS. Tendo em conta que, as lamas em estudo apresentam uma razão de C/N de aproximadamente 10:1, que é um resultado plausível, visto serem constituídas maioritariamente por lamas primárias, é provável que se verifique a afirmação de que, quando o material orgânico apresenta razão C/N inferior a 20:1, é de esperar libertação de azoto mineral logo nas primeiras fases do processo (Rodrigues, Coutinho, 2000). Assim, seria expectável de observar, após a aplicação da quantidade de lama definida anteriormente, uma melhoria do solo na sequência da disponibilização imediata do N, contudo podendo persistir a probabilidade de se verificarem efeitos negativos, associados a esta aplicação, tais como a lixiviação do nutriente e/ou volatilização do N na forma amoniacal, i. e, em condições de pH elevado do solo e desequilíbrio da relação $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$ (Schmidt, 1982), embora não se verifique no nosso caso.

Quanto ao fósforo, através de uma tonelada de lama, seria veiculado ao solo uma quantidade de 6,38 kg (P_2O_5). Porém, segundo Dias (2004), só uma parte deste fósforo, 50% em média, correspondente no nosso exemplo concreto à 3,19 kg (P_2O_5) t^{-1} lama, incluindo a fracção mineral e a fracção orgânica mineralizável, estaria disponível para a cultura durante o seu período vegetativo.

Se a aplicação do fertilizante fosse realizada em zonas não vulneráveis e com objectivo de suprir as necessidades de N da cultura (caso do exemplo anterior) isto significaria que através de

44,2 t ha⁻¹ de lama, estaríamos a introduzir uma quantidade de 281,9 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅), dos quais ficariam disponíveis os 141 kg ha⁻¹, que *per se* constitui uma quantidade razoável para uma produção média esperada, de acordo com as recomendações de fertilização fosfatada para muitas culturas (INIAP, 2006).

Não obstante, quando aplicada em excesso relativamente às recomendações de fertilização, esta quantidade poderá conduzir a acumulação deste nutriente no solo, originando graves problemas de natureza ambiental (Maguire *et al.* 2000; Epstein, 2003, citados em Bancessi, 2009) embora em determinadas circunstâncias, que não essas, possa ser considerada benéfica, visto ser susceptível a uma posterior mineralização mais lenta e prolongada.

Porém, alguns autores defendem que existe a probabilidade de a aplicação do biossólido não alterar significativamente as condições do P no solo, tal devendo-se à sua quase imediata adsorção à matriz do solo, associada a uma baixa amplitude de difusão muito próxima da raiz, sendo limitada a um pequeno volume de solo (Varenes, 2003).

Todavia, por força da acção humana, pode ser promovida a sua maior disponibilidade, actuando em particular, sobre a correcção da reacção do solo e optando pela aplicação localizada de fertilizante (Alves, 2009).

Quanto ao potássio e aos restantes nutrientes, as suas disponibilidades para as plantas são idênticas à dos fertilizantes minerais, pelo que poderá considerar-se como disponível a quantidade total do elemento veiculado pelo resíduo (INIAP, 2006). Isto é, de acordo com a quantidade determinada nas amostras analisadas, uma tonelada de biossólido veicularia ao solo 286 g de potássio, perfazendo, em caso de aplicação de 44,2 t ha⁻¹ de lama 12,6 kg ha⁻¹ de potássio. Esta, embora uma quantidade relativamente baixa, contudo não constituindo uma excepção, visto que geralmente, as concentrações do potássio nos biossólidos são por norma diminutas, chegando por vezes ao ponto de não serem considerados nos planos de fertilização (Dias, 2004)

Importa referir que, a aplicação de quaisquer quantidades de nutrientes como o fósforo e o potássio, tal como no caso de N, deve ser precedida de análise de quantidades disponíveis destes elementos no solo e ponderação das doses do fertilizante, de acordo com os índices de fertilidade, classificados pelo Método Egner-Rienm (INIAP, 2006)

Em todo o caso, em situações de défice nutritivo, relativamente a um ou outro elemento e/ou, caso atingido o limite de aplicação do biossólido (em particular, em zonas vulneráveis) poder-se-ia recorrer aos fertilizantes minerais para a correcção e colmatação das necessidades das culturas. Para todos os efeitos, a utilização de lamas em solos agrícolas, num determinado perímetro de intervenção, está sujeita a elaboração e cumprimento de um plano de gestão de lamas (PGL) aprovado pela DRAP territorialmente competente (DL 276/2009, de 2 de Outubro).

Uma análise qualitativa de lamas de depuração, quando destinadas a valorização agrícola, também inclui, por imposição legal e razões óbvias, uma avaliação do teor de metais pesados e microrganismos patogénicos, visando o cumprimento rigoroso dos valores-limite, tanto nas concentrações iniciais como nas quantidades desses metais anualmente introduzidos nos solos cultivados. No nosso caso, relativamente ao teor de metais pesados, verificou-se que as lamas cumprem os valores das concentrações impostos pela legislação. Assim, nos teores dos mesmos, estimados por acumulação no solo, após à aplicação unitária de 44,2 t ha⁻¹ de biossólido, visando

suprir as necessidades hipotéticas de N em 50 kg ha⁻¹, (exemplo dos nutrientes), confirmou-se a tolerância legal, medida em kg/ha/ano, face aos valores apresentados de Cd, Cu, Ni, Pb, Cr, Zn.

Os respectivos acusaram uma larga margem para englobar um possível e eventual incremento à sua concentração no solo, excepto o Zn, cujo grau de liberdade do valor estimado face ao valor limite regulamentado, é mais reduzido, chamando alguma atenção para o controlo do seu valor limite, visto que, uma aplicação por ano de 100 t ha⁻¹ de fertilizante (lama tal e qual) poderá atingir o valor limite permitido (Anexo II, Quadro ii-ii). A análise na presença de microrganismos patogénicos, *Escherichia coli* em particular, acusou por sua vez uma concentração superior ao limite definido, denunciando a carência de um tratamento complementar de higienização, caso seja considerada a possibilidade de valorização agrónómica.

4.2.4 Produção de Lamas na ETAR da Guia

De acordo com os dados disponibilizados pela ETAR da Guia, relativamente ao período de estudo, foram produzidas lamas de depuração de ARU, em estado digerido e desidratado, em quantidades discriminadas no quadro a seguir.

Quadro 4-5 Caudais de ARU tratados e quantidade de Lama processada na ETAR da Guia

Período, ano	Lamas produzidas (digeridas e desidratadas, t lama / t MS)	Caudais ARU tratados, m ³
2010	1600 / 457	65.883.456
2011	13797 / 3035	57.664.584
Média/dia em 2011	40	157.985

A disparidade dos valores apresentados, nas quantidades totais de lamas produzidas, justifica-se pelo facto de a ETAR ter iniciado o ciclo de pré-arranque das novas instalações no decorrer do ano 2010, constituindo este um período preparatório para a entrada em pleno funcionamento, prevista para o 2011, cujo facto implicou o reajustamento e reorganização dos serviços, procedimentos, meios materiais e humanos afectos.

Os ensaios, realizados na data, pela equipa de operação da ETAR, permitiram detectar uma série de deficiências, quer de concepção dos órgãos, quer de construção, quer de condições de instalação dos equipamentos, pelo que mesmo em 2011, na estação ainda não estava assegurado o funcionamento pleno e continuado de todas as etapas do tratamento.

4.3 Avaliação dos cenários de gestão do resíduo final

4.3.1 Pressupostos para a optimização da gestão do resíduo no caso da ETAR da Guia

A análise da composição e da qualidade das lamas da ETAR da Guia, cujas características foram apresentadas nos subcapítulos anteriores, bem como a avaliação das quantidades geradas, permitiram reflectir sobre os possíveis destinos finais a atribuir às mesmas. Concluiu-se que as lamas

cumprem os requisitos legais, quanto a maioria dos parâmetros estabelecidos, para valorização agrícola, com excepção a quantidade dos microrganismos patogénicos, que ultrapassa os níveis aceitáveis. Tal facto invalida a possibilidade da aplicação directa das lamas para os fins de fertilização, sem que haja um tratamento complementar de higienização.

Não obstante e de acordo com o anteriormente referido, as condicionantes técnicas que persistiram ao longo do desenvolvimento deste projecto e nomeadamente a eficiência reduzida das instalações em consequência às falhas construtivas, revelaram-se impeditivas, nesta fase inicial, para a aplicação da solução preconizada no projecto, que é a aplicação do processo de secagem térmica com higienização e redução do teor de humidade das lamas para o valor inferior a 10%.

Por outro lado, as mesmas condicionantes evidenciaram a carência da implementação de uma alternativa, sustentável financeiramente, isto é, em condições actuais e eventuais, relativamente a optimização das soluções para o escoamento do resíduo. Nesse contexto e para o efeito, em continuação, serão propostos e avaliados os cenários alternativos compatíveis com a situação actual da ETAR e eventuais desenvolvimentos.

4.3.2 Descrição do cenário actual e idealização dos cenários alternativos

Cenário A (*Situação actual*) - Funcionamento da instalação com deficiências e anomalias, em potência reduzida com secagem térmica inoperacional.

Opção de escoamento neste cenário, por obrigação legal, é a transferência do resíduo para o operador devidamente licenciado, suportando em contrapartida o pagamento de um montante previamente contratualizado.

Cenário B – Tendo em conta o investimento já realizado, resolução de todas as anomalias técnicas para o arranque do processo de secagem térmica e início de produção de lamas secas, (teor de humidade <10%), com posterior valorização energética das lamas secas na totalidade, na qualidade de CDR, em centrais térmicas convencionais ou em instalações dedicadas, quando e se existentes, como complemento aos combustíveis fósseis, em particular, (carvão).

Cenário C (*Alternativa 1*) – Análise da possibilidade de exploração de uma linha de reciclagem de fósforo *F*, tipo KREPRO (Figura 3-13) a partir das lamas desidratadas, com posterior utilização destas, na qualidade de CDR, (cenário B), e/ou valorização do fosfato de ferro reciclado como fertilizante mineral.

Cenário C (*Alternativa 2*) – Com investimento, com base no cenário actual (**A**) e em alternativa à secagem térmica, através do processo de calagem avançada de lamas, (pasteurização em reservatório fechado), com obtenção de biossólido classe A (classificação US EPA), para a posterior valorização agrónómica.

Cenário D – Com investimento, em condições de funcionamento da secagem térmica, através da aquisição e incorporação de um módulo tecnológico (Reactor Plateau ASP), no layout da instalação do tratamento de lamas, para transformação de lamas secas em fertilizante NPK de alto valor nutritivo, (com características solicitadas), com posterior escoamento, garantido pelo fornecedor da instalação, de toda a quantidade do biossólido produzido contra uma compensação pecuniária.

Estimativa de custos associados à operação/escoamento do resíduo final

Os custos associados aos vários cenários apresentados foram estimados com base nos dados facultados pela SANEST, referentes ao período em estudo e nas fontes citadas nos capítulos descritivos anteriores, complementados por cálculos adicionais, projectados para a situação em estudo.

Nesse contexto o cenário actual (A) foi qualificado como padrão de comparação com as restantes alternativas apresentadas, determinando o grau de viabilidade de cada uma das soluções.

O Quadro 4-6 apresenta a síntese de custos estimados para cada operação considerada, com destinos finais preconizados para o caso em estudo, adaptados a quantidade total e qualidade das lamas processadas, (primárias, com 22% MS).

Quadro 4-6 Síntese de custos dos processos de tratamento e escoamento de lamas

Cenários Operação/Tecnologia + Destino Final	Quantidades de lama ou matéria gerada, total, t/dia	Custo de investimento + exploração** €/ t lama /ano	Preço unitário de escoamento ou valorização de biossólido/CDR, €/ t produto	Custos /Proveitos anuais* estimados para o escoamento €/ ano
Desidratação - Transferência para o Operador/Compostagem	40 (teor H ₂ O - 22%)	-	36,75	- 536.550
	80 (teor H ₂ O - 22%)	-		- 1.073.100
Secagem térmica com Co-geração ⁶⁷ / Valorização CDR	80 (teor H ₂ O - 22%)	143 +12	-	- 350.400
	25.6 (CDR, teor H ₂ O -10%)		8 (CDR)	+ 74.752
Reciclagem do Fósforo ³⁵ com Valorização de CDR e Fertilizante [Fe(PO ₄)]	80 (teor H ₂ O - 22%)	45 (invest.) 16 (expl.) + 12 (Secagem térmica)	-	- 812.000
	8,8 (CDR)		8 (CDR)	+ 25.695
	3,2 [Fe(PO ₄)]		1000 (Fertilizante)	+ 1.168.000
Estabilização Alcalina ⁷¹ RDP/Biossólido A	80 (teor H ₂ O - 22%)	19 +	-	- 233.600
	85	8	7	+217.175
Plateau ASP ⁶⁹	80 (teor H ₂ O - 22%)	Em análise detalhada	35-40	- 376.388
	37 (teor H ₂ O - 10%)			+ 506.437

* Os custos anuais representam as quantidades diárias e valores unitários de exploração reportados aos 365 dias de operação

** Os custos de exploração incluem os consumos energéticos e todo o tipo de recursos inerentes, (materiais e humanos)

Nos cenários que prevêem o funcionamento da secagem térmica, o investimento para a aquisição do Turbo-Secador integra um investimento global feito anteriormente, para a obra de Beneficiação do Tratamento da ETAR em geral, pelo que foram considerados somente os custos da exploração da instalação da secagem térmica, (pelos parâmetros do projecto, com o aproveitamento

do valor potencial energético do biogás), e do escoamento de lama com teor de humidade inferior ou igual a 10 %, para o destino final, na qualidade de CDR.

Cenário A - Na situação actual e em cumprimento dos requisitos legais, o cenário de escoamento do resíduo passa pela transferência para o operador licenciado, TERRA FERTIL, Gestão e Valorização de Resíduos, de toda a quantidade de lama produzida. A remuneração, paga ao operador mencionado pela recepção de lamas desidratadas para a compostagem, teve durante o ano 2011 um valor unitário variável, cuja média constituiu 36,75 € /t de lama, (Matéria Original). Pela quantidade da lama transferida neste ano a operação gerou um custo de:

$$13.797,00 \text{ t lama (Matéria Original)} \times 36,75 \text{ €/t} = 507.039,75 \text{ €/ano};$$

Os custos da exploração na ETAR da Guia (Fase Sólida) referentes a todo o processo de operação incluindo a desidratação, de acordo com os dados facultados pela SANEST, ascenderam em 2011 aos valores descritos no Quadro 4-7.

Quadro 4-7 Custos de exploração na ETAR (Fase Sólida) no ano 2011

Itens considerados, unidades	Quantidade em 2011	Custo médio unitário, €	Custo, €/ano
Operação (mão de obra)	-	-	250.000
Energia Eléctrica, Kwh	3.632.453	0.1	363.245
Água, m ³	37.645	2.27	85.454
Gás natural, Kwh	285.810	0.5	142.905
Reagentes (vários)	-	-	291.247
Total	-	-	1.132.851

Estes custos, tendo constituído em 2011 um acréscimo de 82,10 €/t de lama (Matéria Original) ou de 0.02 € /m³ de AR tratada, por se referirem a operações anteriores a desidratação, permanecerão inalteráveis em qualquer uma das alternativas consideradas e adoptadas em continuação.

No quadro 4-6, pela mesma razão, foi intencionalmente omitido esse acréscimo, visto que os cenários alternativos serão projectados para a fase posterior a desidratação, contemplando para os efeitos da análise, somente os custos suportados com a gestão das opções para o destino final.

É importante referir que em 2011, só houve aproveitamento de biogás, produzido na digestão anaeróbia, para o aquecimento de lamas, (funcionamento da caldeira), fundamental na manutenção do regime mesofílico no processo de digestão, apesar de ter sido utilizado o gás natural para o efeito.

Cenário B - apresenta um desenvolvimento pré-concebido no projecto inicial, que prevê a passagem das lamas desidratadas pela secagem térmica, sujeitando-se a diminuição de volume por redução significativa do teor de água e a higienização da lama, por acção de altas temperaturas, implicando porém custos consideráveis, provenientes do elevado consumo energético.

Durante o ano 2011, nas instalações em estudo, o equipamento de secagem permaneceu inoperacional, devido aos problemas de foro técnico. Admitindo hipoteticamente a operacionalidade do equipamento de secagem térmica e atendendo aos parâmetros do projecto, bem como às

quantidades de resíduo, geradas em 2011, os custos e proveitos desta operação teriam sido os que passam a ser discriminados.

Consumos energéticos no processamento da quantidade total de lama:

O consumo energético total na secagem térmica é de 780 Kwh/t água evaporada.

A redução por evaporação do teor de humidade das lamas desidratadas, (78% humidade), para o estado seco, (10% humidade), é de 680 kg água por t de lama (Matéria Original). A quantidade de 13.797 t de lama, (matéria Original), produzida em 2011, teria correspondido à:

$$13.797 \text{ t} \times 0.68 \text{ t água evaporada / t lama} = 9.381,96 \text{ t água.}$$

Em regime de consumo nominal, a carência energética do processo de secagem térmica para esta quantidade de lama teria constituído:

$$9.381,96 \text{ t água} \times 780 \text{ Kwh/t} = 7.317.929 \text{ Kwh};$$

Considerando a produção de biogás no processo de digestão aeróbia, com redução de 40 % de SV e o rácio de produção de 0,9 m³ de biogás por cada kg de SV eliminados, teríamos, de acordo com os parâmetros qualitativos da lama em estudo, (quadro 4-2);

$$85 \text{ kg SV eliminados por t lama (matéria original)} \times 13797 \text{ t lama/ano} = 1172,7 \text{ t SV};$$

$$1172,7 \text{ t SV} \times 900 \text{ m}^3 \text{ biogás / t SV} \Rightarrow (1 \text{ m}^3 \text{ biogás} = 5 \text{ 500 kcal} \Leftrightarrow 6,4 \text{ Kwh})$$

$$\Rightarrow 1.055.430 \text{ m}^3 \text{ biogás} \times 6,4 \text{ Kwh / m}^3 \text{ (biogás)} = 6.754.752 \text{ Kwh};$$

Atendendo ao coeficiente de disponibilidade do equipamento de co-geração de 0,91 e a taxa de conversão do biogás em energia eléctrica de 30%, tem-se:

$$6.754.752 \text{ Kwh} \times 0,9 \times 30\% = 1.844.047,3 \text{ Kwh}$$

de energia eléctrica gerada, pelo que subtraindo-a ao défice energético da secagem teríamos:

$$7.317.929 \text{ Kwh} - 1.844.047,3 \text{ Kwh} = 5.473.882 \text{ Kwh};$$

que, a um preço médio de venda a rede pública de 0,1 € /Kwh, teria fixado o custo suportado na operação em 2011 em 5.473.882 Kwh x 0,1 € /Kwh = 547.388 €/ano, i. e , 547.388 € ÷ 13797 t lama = 39,67 € por tonelada de lama processada em 2011.

Por comparação com o cenário actual tem-se:

Cenário A - Custos: 507.040 € / ano; Receita: 0 €

Cenário B - Custos: 547.388 € /ano; Receita: = 35.320 € /ano, gerada por venda na qualidade de CDR de 13797 t lama – (13797 t lama x 68 %) água evaporada = 4415 t x 8,00 € /t, (valor praticado actualmente no mercado) = 35.320 € /ano;

$$547.388 \text{ € / ano} - 35.320 \text{ € /ano} = 512.068 \text{ € / ano.}$$

Diferença relativa ao Cenário A é de -5.028 € /ano = 507.040 € /ano – 512.068 € /ano, valor que estaria susceptível às variações de custos de transporte ao destino final, (co-combustão).

Os preços praticados, (não actualizados), de transporte de lama, de acordo com a AMBIEXPRESS- Transporte de Resíduos S.A., rondam o valor de 0,13 € por km e por m³ de resíduo transportado. Considerando a densidade aparente da lama seca e granulada igual à aproximadamente 0,8 g/cm³ e os contentores de transporte de 10 m³, numa situação de transporte para a Cimenteira de Alhandra (na ausência actual de infra-estruturas dedicadas e/ou mais próximas) o custo rondaria os:

$$125 \text{ km (ida e volta)} \times 9382 \text{ t} \div (10 \text{ m}^3 \times 0,8 \text{ t m}^{-3}) \times 0,13 \text{ €} = 19.057 \text{ € /ano, que subtraído a diferença inicial, resultaria num valor de: } - 5.028 \text{ € /ano} - 19.057 \text{ € /ano} = - 24.085 \text{ € /ano};$$

Assim, numa interpolação com o cenário (A) praticado em 2011, podemos concluir que caso, durante o ano 2011, a secagem térmica na ETAR encontrara-se operacional, a opção de valorização de lama na qualidade de CDR, podia ter encarecido os encargos suportados face ao cenário praticado em 24.085 €/ano.

Já em caso de aumento da produção de lama para 29200 t/ano, poderia ser gerada uma poupança de 15.424 €/ano = 34.404 €/ano (saldo positivo da operação) – 18.980 €/ano (transporte).

Cenário C (Alternativa 1) - A solução *KREPRO* é vista na perspectiva de valorização, de uma parte do resíduo gerado, na qualidade de CDR, e da outra parte, preservando nutrientes como o *P*, *em particular* e eventualmente o *C*, para a valorização agronómica.

A análise da possibilidade de implementação desta linha de tratamento passa por avaliação primária conceitual de aspectos técnicos e económicos inerentes. Um eventual investimento numa instalação desta natureza, para além de ter um custo avultado, (na ordem de 5.000.000 €, preço do equipamento), aniquila parcialmente o investimento anterior, representando uma alternativa mais cara para um efeito semelhante. Assim, para manter uma sinergia relativa com o investimento anteriormente realizado na ETAR, (instalação da secagem térmica), esta nova linha teria de ser integrada no layout do processo de tratamento de lamas existente na ETAR e nomeadamente na saída de lamas da desidratação (centrifugação) e na entrada para a secagem térmica, colocando com isso vários desafios técnicos de dimensionamento e compatibilização de equipamentos. Mesmo tendo ultrapassado isto, ainda assim, a exploração da instalação implicaria uma multiplicação de custos, (consumos energéticos e recursos técnicos e humanos), e, mesmo numa evolução idealizada, havendo uma rentabilização imediata dos produtos valorizáveis (Quadro 4-6) teria sido muito difícil gerar uma receita suficiente para suportar os custos desta operação.

Sendo a fracção de CDR um produto menos valioso no output da operação, conclui-se que a rentabilidade da solução estaria fortemente dependente da receita proveniente da valorização do fertilizante recuperado, fosfato de ferro, cujo preço e procura no mercado estão condicionados pela sua natureza físico-química, (solubilidade reduzida), acusando ao mesmo tempo a sensibilidade à conjuntura, relativamente ao custo da exploração de matéria prima, (rocha), como opção muito mais atractiva economicamente. Por conseguinte, esta alternativa afigura-se mais como uma tendência para a evolução, em cumprimento da estratégia de desenvolvimento sustentável, embora não inviabilizando por completo a possibilidade da implementação a médio prazo em instalações como estas, se, e quando minimizados os custos, (investimento/exploração), desta operação e sobretudo em contexto das condições económicas favoráveis.

Cenário C – (Alternativa 2) – Estabilização Química, *RDP En Vessel Pasteurisation*TM

Na permanência da inoperacionalidade do equipamento da secagem térmica por tempo indeterminado, a estabilização química com cal, melhorada por pasteurização em recipiente fechado, apresenta-se como uma forte alternativa para o processo de higienização das lamas desidratadas com posterior valorização agronómica. As fontes consultadas indicam valores semelhantes, embora algo disperso, relativamente aos custos de investimento e exploração deste tipo de tratamento consoante a capacidade da instalação, (habitantes servidos), e volume do resíduo processado. Os quadros da compilação dos parâmetros do investimento e da análise da rentabilidade do projecto são apresentados em Anexos IV, V, Quadros (iv-i; iv-ii; iv-iii) e (v-i; v-ii; v-iii) respectivamente.

O investimento proposto é projectado com uma vida útil de 7 anos, ou seja, até ao ano 2020, sendo este o ano do fim da concessão a SANEST da gestão dos serviços de saneamento de águas residuais da Costa do Estoril pelo grupo Águas de Portugal. Para a avaliação desse investimento, de acordo com os parâmetros qualitativos e quantitativos praticados na ETAR em estudo são considerados os respectivos dados base:

Quadro 4-8 Síntese de dados para projecção do investimento RDP En Vessel Pasteurisation™

Itens a considerar		Quantificador	Custos totais, €
Aquisição de terreno, (parque de armazenamento de biossólido), m ²		10000	100.000
Construção Civil	Parque de armazenamento, un.	1	1.500.000
	Edifício da instalação, un.	1	
Equipamento, un.		1	1.000.000

Os dados da quantidade da lama processada e os respectivos custos são aplicados de acordo com o disposto no Quadro 4-6. Após a análise das alternativas de investimento apresentadas, concluiu-se que nas condições consideradas, situação sem projecto (o cenário actual) só a Opção I torna o projecto viável, pois apresenta todos os indicadores de rentabilidade positivos. No entanto, a Opção II, projectada para uma situação de eventual recuperação da operacionalidade do secador térmico com possibilidade de valorização energética da lama (CDR), acusa inviabilidade do investimento, manifestando os indicadores negativos.

A Opção I apresenta ligeira sensibilidade relativamente a variação das quantidades de lama processada por ano e mostra-se pouco sensível às opções de rácio de financiamento.

Embora este projecto seja viável, pela análise executada, na realidade a evolução da situação de acordo com este cenário levanta uma serie de inconvenientes, que serão comentados no âmbito das conclusões.

Cenário D – Pasteurização com adição de nutrientes e secagem térmica - Plateau ASP.

A incorporação do equipamento, de acordo com a projecção da Plateau ASP, teria de ser executada pela sequência operacional apresentada infra na Figura 4-8.



Figura 4-8 Diagrama da incorporação da solução Plateau ASP no layout da ETAR da Guia

Dimensionamento da Unidade de Tratamento Plateau ASP



Figura 4-9 Módulos Plateau ASP (Cortesia Plateau ASP, S.A.)

Equipamento necessário a instalar (Figura 4-9)

- ✓ Bombagem das lamas de ETAR e alimentação do reactor químico
- ✓ Módulo de tratamento ASP e parque de químicos (depósitos)
- ✓ Alimentação à unidade de secagem da ETAR (bombagem e doseamento)
- ✓ Sistema de embalagem e paletização do produto final
- ✓ Operação 24 horas por dia, 365 dias por ano.
- ✓ 29 200 t/ano de lama a 22% (em média 3 333 quilograma por hora)
- ✓ 13 600 t/ano de produto final (matéria prima para a indústria de fertilizantes) com 7% de humidade (em média 1 550 kg/h).

Área de implantação:

- ☑ Instalação de Bombagem - 40 m²
- ☑ Módulo de tratamento ASP - 30 m² por módulo (exclui armazenamento de químicos).

- ✓ Consumo de água 2-3 m³ / dia para a higienização dos equipamentos;
- ✓ Consumo diário de energia eléctrica de 650 Kwh, (bombagem e reactivos);
- ✓ Mão-de-obra, 6 operadores para 3 turnos diários (responsabilidade Plateau ASP);
- ✓ Operação sem produção de resíduo;
- ✓ Adaptável à área de terreno adjacente às instalações da secagem térmica;

Custos:

- ✓ Investimento total 2.500.000 € (incluindo a montagem e arranque).
- ✓ Consumo energético total: 650 Kwh x 0,1€/Kwh x 365 dias = 23.725 €/ano
- ✓ Operação de tratamento ASP e embalamento da responsabilidade da Plateau ASP
- ✓ Operação da secagem térmica da responsabilidade da Sanest.
- ✓ Remuneração paga pela Plateau ASP: 35 - 45 € por t de produto final, (fertilizante)
- ✓ Consumo de água: 3 m³ / dia x 365 x 2.27 €/m³ = 2.486 €/ano
- ✓ Custo exploração (Plateau ASP/reagentes incluídos) = (23.725 €/ano + 2.486 €/ano) ÷ 29200 t lama (matéria original) / ano = 0.89 €/t lama (matéria original)
- ✓ Custo total da exploração:
Plateau ASP + Secagem Térmica = 12 € + 0.89 € = 12.89 €/t (matéria original)

Os quadros da compilação dos parâmetros do investimento e da análise da rentabilidade do projecto são apresentados em Anexo VI e VII, Quadros (vi-i, vi-ii, vi-iii) e (vii-i, vii-ii, vii-iii) respectivamente.

Planta da localização da instalação Anexo VIII. O investimento, a semelhança do cenário anterior, é projectado para 7 anos de vida útil.

Após a análise das alternativas apresentadas do investimento concluiu-se que o projecto é viável em ambas as opções deste cenário, manifestando o melhor comportamento em termos da dinâmica do período de recuperação e valores do rácio custo benefício, quando comparado com o *Cenário C*, mesmo em condições de produção anual deficiente ou opções de financiamento dificultado por conjuntura económica. Em comparação com a situação actual, em que a ETAR esteja obrigada a transferir o resíduo para o operador licenciado, os indicadores de rentabilidade situaram-se em terreno positivo e atingiram um nível favorável, sendo que na *Opção I* o único aspecto adverso que podemos observar é o de o encargo do serviço da dívida ser relativamente elevado no 2º ano do investimento, causado pelo facto de o financiamento ter sido conseguido unicamente através do crédito bancário.

Na *Opção II*, na situação sem projecto, foi considerada a hipótese de arranque tempestivo da secagem térmica, com valorização da lama seca na qualidade de CDR. Apesar de os indicadores terem ficado mais frágeis, o investimento permanece viável e não ultrapassa a vida útil do projecto, manifestando ainda os encargos do serviço da dívida mais uniformes e suaves, devido à introdução da parcela de financiamento subsidiado, podendo este representar um financiamento a fundo perdido.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Discussão e Conclusões

O estudo efectuado permitiu concluir que condicionantes de natureza técnica da instalação tornaram-se impeditivas para a realização de uma investigação complexa e pormenorizada sobre todo o processo de operação na ETAR, com avaliação e análise das soluções técnicas aplicadas no processamento das lamas. Contudo, numa análise geral, os processos de tratamento aplicados provam uma concepção tecnológica de elevada eficiência no que diz respeito ao ciclo de processamento de lamas residuais, embora acusando uma margem para a possibilidade de optimização do seu desempenho. Tendo em conta os avanços alcançados pelas actuais MTD, bem como os conceitos científicos mais inovadores aplicados de acordo com os parâmetros exigidos, observou-se na ETAR da Guia um sistema de tratamento das LRU profundamente modernizado.

Ao longo do estudo constatou-se que no seu projecto inicial da Beneficiação do Tratamento da ETAR da Guia, os autores tiveram a preocupação de assegurar a viabilidade económico-financeira das soluções propostas, em termos de instalações e processos, bem como garantir um rigoroso cumprimento das disposições e requisitos legais e demais princípios de sustentabilidade ambiental e social aplicáveis.

No entanto, o respectivo estudo observou a ocorrência de situações imprevistas, tais como, deficiências construtivas que se revelaram geradoras de alguns sobrecustos nesta fase inicial de operação, causando impactes significativos no desempenho dos indicadores económicos da instalação, facto que potenciou a procura das soluções alternativas, analisando e argumentando a sua viabilidade de acordo com os pressupostos legais, técnicos e à luz da conjuntura actual económica. Com base nos níveis de tratamento de lamas na ETAR em estudo e nos resultados da análise qualitativa e quantitativa das mesmas, concluiu-se que as opções de gestão, aplicadas ao fluxo de resíduo gerado na estação, devem passar necessariamente pelo tratamento avançado, isto é, higienização a nível microbiológico, admitindo que os níveis dos metais pesados se encontram dentro dos limites legais estipulados.

Do conjunto de tratamentos elegíveis para o efeito, a secagem térmica apresenta-se como o mais vantajoso, garantindo a higienização absoluta por acção térmica, assegurando ainda a redução significativa do volume de lamas por diminuição do teor de água.

Contudo, devido a inoperacionalidade temporária e por tempo indeterminado deste equipamento, na ETAR, durante o período de estudo, foram gerados sobrecustos imprevistos, visto que a opção escolhida para o escoamento das lamas depuradas foi a de transferência para o operador licenciado com encaminhamento para compostagem.

As opções, aqui apresentadas e fundamentadas, estão de acordo com os princípios da hierarquia da gestão de resíduos, delineada pela PERSU II, (MAOTDR, 2007b), e correspondem à evolução actual das MTD a nível mundial para o tratamento e gestão das LRU.

Os parâmetros qualitativos e quantitativos das lamas em estudo confirmam a sua aptidão e adequabilidade para os tratamentos alternativos propostos.

As soluções encontradas, embora implicassem um investimento adicional, foram modeladas e projectadas para os parâmetros reais obtidos na ETAR durante o período em estudo, para que se aproximem ao máximo das condições reais, pretendendo a maior fiabilidade dos dados.

Para além da descrição detalhada da situação actual, em contexto deste trabalho, foi apresentada uma análise tecnológica relativamente aos três cenários alternativos com posterior análise económico-financeira. Algumas das soluções propostas, embora apresentassem viabilidade aceitável, numa análise mais profunda revelaram incompatibilidade aparente com as condições estabelecidas para o caso, pelo que foram afastadas por aplicação de critérios conceituais, como foi o caso do tratamento com reciclagem do Fósforo a partir das lamas desidratadas - tecnologia KREPRO.

O estudo de viabilidade do investimento efectuado sobre outros cenários permitiu qualificá-los para uma possibilidade de virem a ser implementados, a curto ou médio prazo em alternativa ou complemento às operações já existentes e praticadas. Uma destas opções em causa, a Estabilização alcalina da RDP Pasteurisation™, na qualidade da alternativa, foi concebida como uma solução provisória, apenas durante o período de inoperacionalidade do secador, pelo que poderá levantar algumas reticências por parte dos decisores da entidade, visto que o investimento anterior no âmbito da modernização geral da ETAR se encontra já em período de recuperação. Refira-se que a viabilidade deste cenário só se manifesta quando comparado com a transferência (intermediada) para a compostagem, devido ao elevado custo cobrado pelo operador, sendo que em caso de tratamento por secagem térmica, perde parcialmente a sua viabilidade. Numa avaliação criteriosa, esta solução pode vir ainda a denunciar alguma inconveniência devido a uma eventual ausência da disponibilidade de terreno adjacente, para a construção do parque de armazenamento, podendo gerar custos adicionais de transporte e encarecer a operação. Das principais desvantagens desta opção constam as infra referidas:

- o parque de armazenamento, embora coberto, poder manifestar potencial para gerar maus odores.
- durante o tempo seco, existir a possibilidade de formação de poeiras.
- a quantidade do biossólido, passível de ser acumulada no armazém, ser limitada e implicar uma gestão hábil e eficaz das opções de escoamento do produto, ao passo que, se negligenciada, puder causar eventuais perdas na receita e/ou originar contra-ordenações legais.

A outra das soluções aqui propostas, designada Plateau ASP, apresenta-se com o melhor desempenho económico-financeiro e mais vantagens, relativamente às restantes, em termos de espaço necessário para a instalação, manutenção, operação e o escoamento final para a valorização, para além do facto de o produto final corresponder ao destino de eleição, apontado pela escala hierárquica de gestão de resíduos, nomeadamente a valorização agrónómica.

5.2 Recomendações

No âmbito da temática desenvolvida ao longo deste projecto e tendo em conta os conceitos e aspectos importantes abordados, bem como as conclusões resultantes da pesquisa e apresentação das soluções elaboradas, é proposto às partes interessadas a leitura do presente trabalho com intuito de:

Tomar conhecimento, com vista ao possível seguimento e/ou desenvolvimento das tendências delineadas e configuradas no presente trabalho relativamente a optimização dos processos de tratamento de águas residuais urbanas.

De acordo com os argumentos apresentados, procurar soluções técnicas para implementação de uma melhoria contínua dos parâmetros de águas rejeitadas, bem como das lamas de depuração geradas, promovendo a adopção dos processos mais económicos e eficientes, que possibilitem a reutilização e a reciclagem de todo o tipo de recursos envolvidos, principais e/ou secundários.

É proposto, de acordo com os conceitos e critérios enunciados, bem como conforme os pressupostos legais e demais requisitos, proceder a elaboração de opções devidamente hierarquizadas para a gestão das lamas tratadas. Nessa perspectiva a ordenação das respectivas opções na unidade de operação em estudo poderá passar pelo seguinte modelo:

Caso permaneça inibida a actividade do Turbo-secador, poderá recorrer-se a uma das opções alternativas propostas, como por exemplo a estabilização alcalina avançada, (com pasteurização em recipiente fechado), RDP Pasteurisation TM, acautelando previamente todos os aspectos menos favoráveis, anteriormente mencionados. O tratamento proposto proporcionará a produção de um bio sólido de classe A, de aplicação sem restrições na agricultura, que com devida gestão e distribuição, previamente acordada e agendada, poderá aligeirar, a partir do quinto ano de investimento (segundo a análise apresentada), a factura da ETAR paga por encaminhamento do resíduo para a compostagem, em mais de 400.000 € / ano, quando relativo à quantidade de lama produzida na ETAR da Guia em 2011.

Em caso de arranque tempestivo do processo de secagem térmica, as primeiras opções que poderão vir a ser tomadas, encontrarão nesta tese os argumentos necessários para a sua consolidação e concretização. Trata-se de um investimento adicional para aquisição de um módulo compacto de processamento químico Plateau ASP, que assegura a produção de um fertilizante absolutamente higienizado e livre de qualquer agente patogénico, para além de conter uma quantidade pré-definida ou solicitada de macronutrientes (NPK). Esta opção garante uma poupança ainda maior, quando comparada com a opção da compostagem, sendo superior a 500.000 € / ano, a partir do quarto ano de investimento, quando reportada a quantidade de lama produzida em 2011, aumentando a rentabilidade do processo de secagem térmica e escoamento do resíduo, de modo que estas deixam de ter qualquer impacto sobre o valor das taxas cobradas aos clientes pelos serviços de saneamento. Mesmo quando comparada com o cenário de escoamento da lama seca peletizada na qualidade de CDR, a solução Plateau ASP constitui uma poupança significativa. Ainda em caso de funcionamento da secagem térmica, a outra opção de gestão poderá passar somente pelo aproveitamento da lama seca na qualidade de CDR (sem recorrer a novos investimentos),

contudo podendo constituir um bom recurso na qualidade de fertilizante, muito embora com uma quantidade reduzida de nutrientes, devido a especificidade do próprio processo de secagem. Visto que existem opiniões na comunidade científica que apontam para a não utilização de “pelets” em “bruto” na agricultura, (tendo em conta a diminuição do N após a secagem), e inexistência de ensaios de incubação/disponibilização de nutrientes com resultados estáveis e comprovados, bem como inexistência do mercado específico para este tipo de fertilizante, a opção mais prática neste caso retorna para a valorização energética na qualidade de CDR.

Em condição de ausência actual de instalações dedicadas, o aproveitamento energético pode ser feito a partir das incineradoras, com equipamento do tipo leito fluidizado, em co-combustão com os combustíveis fósseis, nomeadamente, carvão, em determinadas proporções.

Em tudo o resto, omissas nestas recomendações, a personalização das soluções de gestão para estas ou outras instalações semelhantes deverá pautar-se pelo cumprimento rigoroso da legislação inerente e da aplicação dos critérios de abordagem alargada e/ou integrada, envolvendo as vertentes: territorial, ambiental, social, jurídica, tecnológica e comercial, sendo esta abordagem decisiva na elaboração de um modelo adequado de gestão, visando os processos de tratamento aplicados e permitindo uma máxima optimização dos destinos de escoamento.

O presente trabalho está redigido segundo a grafia do português pré-acordo ortográfico

6 BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS DE INTERNET

1. Abelha, P. M.R.J., 2005. Emissões Gasosas durante a Co-combustão de Carvão com Resíduos, Dissertação de Doutoramento em Engenharia Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. pp. 142-221.
2. Agência Europeia do Ambiente (AEA), em colaboração com a Associação Europeia da Água-EWA, 1998, Sistemas de Águas Residuais Urbanas – Um Guia para não especialistas, Copenhaga, 117 p. + 3 anexos.
3. Andreoli, C.V., Von Sperling, M., Fernandes, F. 2001. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Lodos de esgotos: Tratamento e Disposição Final. Ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Curitiba: SANEPAR, 484 p.
4. Archer, E., Baddeley, A., Klein, A., Schwager, J., Whiting, K., 2005. Mechanical-Biological Treatment: A Guide for Decision Makers Processes, Policies e Markets. Summary report, Juniper Consultancy Services, Ltd.
5. Azevedo, R. T., 2002. Tecnologias de Tratamento de Águas Residuais Urbanas, disponível no Portal Pluridoc. Acesso: 17/10/2010
6. Bancessi, A.M., 2009. Valorização Agronómica/Energética de Lamas de ETAR, Estudo do Caso ETAR de Beirolas, Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, ISA, UTL, Lisboa. pp.12-33.
7. Bundy and Meisinger, 1994. Nitrogen availability indices. In: Methods of soil analysis. Part 2 Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Series 5. Madison, USA. pp. 951-983
8. Buttz, J.A., Daigger, G.T., 1998. Upgrading Wastewater Treatment Plants, Vol. 2, 2nd Ed., Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster-Basel.
9. Cassidy, S., 1998. Recovery of valuable products from municipal wastewater sludge. In: Chemical Water and Wastewater Treatment, (Hahn, H. Hoffmann, E. and Ødegaard, H. eds), Springer-Verlag Heidelberg, pp. 325-340.
10. Centre Européen d'Etudes des Polyphosphates - CEEP, 2001. Scope Newsletter, Articles and information concerning P-Recovery available on request from CEEP, N°41, CEFIC, Bruxelles, Belgium.
11. Cornel, P., Schaum, C., 2009. Phosphorus recovery from wastewater: needs, technologies and costs, Water Science e Technology—WST. IWA Publishing.
12. Cunha-Queda, C., 1999. Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Tese de Doutoramento em Engenharia Agro-Industrial, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
13. Cunha-Queda C. e Duarte, E., 2008. Guia de Métodos de Análise Laboratorial para Apoio às Sessões Laboratoriais da Unidade Curricular de Tratamento Águas, Efluentes e Resíduos. Edição da AEISA, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
14. Davis, M., Cornwell, D., 1998. Introduction to Environmental Engineering. Vol 1. WCB/McGraw-Hill. Third Edition New-York.

15. Dias, S., Silva, R., Barreira, F., Costa, M., 2006. Avaliação do potencial de produção e utilização de CDR em Portugal continental, Estudo Base. Centro de Engenharia Biológica e Química, Instituto Superior Técnico, Lisboa. 137p.
16. Dias, J.C.S., 2004. Guia de boas práticas – Aplicação de Lamas na Agricultura. 53p + 16 anexos. Reciclamos Multigestão Ambiental, S.A., Lisboa.
17. Directiva Comunitária 86/278/CEE do Conselho de 12 de Junho de 1986, Jornal Oficial nº L 181 de 04/07/1986 p. 0006 – 0012.
18. Directiva Comunitária 1999/92/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 1999, Jornal Oficial nº L 23 de 28/01/2000
19. Duarte, E. A. e Reis, I.B., 2002. A calagem como processo de estabilização e higienização de lamas de ETAR, Comunicação apresentada no Encontro: Gestão e Valorização de lamas de ETA's e ETAR's em Portugal, Fórum Lisboa, Lisboa, Portugal.
20. Duarte, E. A., Reis, I. B., Martins, M. B. O., Trindade, C. P., 2005. Optimização da gestão de lamas: tratamento, armazenamento e destino final. DQAA, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
21. Duarte, E. A., 2009. Tratamento de Águas, Efluentes e Resíduos. Manual de Apoio á Unidade Curricular de Licenciatura em Engenharia do Ambiente e Alimentar. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 109 pp.
22. Dunnu, G., Hilber, T., Schnell, U., 2006. Advanced Size Measurements and Aerodynamic Classification of Solid Recovered Fuel Particles Institute of Process Engineering and Power Plant Technology (IVD), University of Stuttgart, Germany.
23. European Commission, 2001. Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge, Scientific and Technical sub-component Report, Part 3.
24. Farinha, J.A.M., 2003. Secagem térmica de lamas de ETAR, Comunicação apresentada no Encontro Gestão e Valorização de Lamas de ETA e ETAR's em Portugal, Forum Lisboa, Lisboa. p.13.
25. Fernandes, F., Souza, S.G., 2001. Estabilização de Lodo de Esgoto- Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final, RiMa, ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro. pp. 282
26. Florindo, F.M.L.R., 2009. Caracterização das Lamas Geradas e sua Valorização nos Subsistemas dos SMAS-Sintra, Dissertação de Mestrado, Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. pp. 8-28.
27. Garg, A., Smith, R., Hill, D., Sims, N., Pollard, S., 2007. Wastes as Co-Fuels: The Policy Framework for Solid Recovered Fuel (SRF) in Europe, UK.
28. Ginestet P., 2007. Comparative Evaluation of Sludge Reduction Routes.(ed.) Ginestet P., IWA, Publishing, UK, London. pp. 20-90.
29. Godinho, C.A.G, 2009. Impacte da Revisão da Directiva de Valorização de Lamas nos Custos de Tratamento de Águas Residuais, Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. pp.97-153.

30. Gonçalves, J., Leitão J., 2001. Tratamento, Transporte e Destino final de lamas de ETAR, Trabalho Final de Curso, Licenciatura em Engenharia de Ambiente, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
31. Gujer, W.; Zehnder, A.J.B., 1983. Conversion processes in anaerobic digestion; Refereed Article in a Scientific Journal- Water Science and Technology, Nº 15, pp. 127-167.
32. Hahn, H., Hoffmann, E., Ødegaard, H., 1996. Chemical water and wastewater treatment IV: Proceedings of the 7th Gothenburg Symposium. Edinburgh, Scotland/Hann, H. (ed.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, pp. 227-401.
33. Hansen B., Karlsson I., Cassidy S., Pettersson L., 2000. Operational experiences from a sludge recovery plant, Water Sci. e Techn., Vol. 41, Nº 8, pp. 23-30.
34. INIAP, 2006. Manual de fertilização das culturas, Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa. 282 p.
35. Karlsson, I., 2001. Full scale plant recovering iron phosphate from sewage at Helsingborg Sweden, 2nd, Helsingborg, Sweden.
36. Kiely, G., Veza, J., 2001. Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill, Interamericana de España. Madrid. Espanha. 1331 p.
37. Malta, T.S., 2001. Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: Estudo do caso do município de Rio de Ostras – RJ, Rio de Janeiro. Dissertação de mestrado. Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública.
38. Marecos do Monte, H., Albuquerque, A., 2010. Reutilização de Águas Residuais, Guia técnico. ERSAR, ISEL, Lisboa. ISBN 978-989-8360-01-4.
39. Martinho, M., Silveira, A., Pires, A., Teixeira, V., Correira, M., 2006. Potential RDF production from sorting plants in Portugal. In Proceedings of Venice 2006, Biomass and Waste to Energy Symposium, Venice, Italy, November 29 - December 1, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy.
40. Metcalf e Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F., Stensel H.D., 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, McGraw-Hill Education, 4 Ed. 1848 p.
41. Metcalf e Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F., 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, McGraw-Hill Education, 3 Ed.
42. MPAT, 1994. Quadro comunitário de apoio: PDR: Plano de Desenvolvimento Regional 1994-1999. Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Secretaria de Estado do Planeamento e do Desenvolvimento Regional, Direcção-Geral do Desenvolvimento Regional, Lisboa. ISBN - 972-9352-32-1.
43. MAOTDR, 2007a. Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II) 2007-2013. Ministério de Ambiente, do Ordenamento de Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa
44. MAOTDR, 2007b. Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II) 2007-2016. Ministério de Ambiente, do Ordenamento de Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa.
45. Odegaard, H., Paulsrud, B., Karlsson, I., 2008. Sludge Disposal Strategies and corresponding Treatment Technologies aimed at Sustainable Handling of Wastewater Sludge.

46. Oliveira, P., 2005. Sanest – Dez Anos. Medialivros, Actividades Editoriais S.A, Lisboa.
47. Pincince, A. *et al.* 1998. Design of Municipal Wastewater Treatment Plants (Fourth Edition) WEF Manual of Practice 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice nº 76; Vol. III Solids Processing and Disposal (cap.17-24).
48. Pita F.A.G., 2002. Volume II - Tratamento de Águas Residuais Domésticas in Armazenamento e Tratamento de Resíduos Coimbra: Departamento de Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. p. 54.
49. Qasim, S. R., 1999. Wastewater Treatment Plants – Planning, Design and Operation, 2 Ed. 1107p.
50. Rasquilha, F.J.T., 2010, Contribuição para o Tratamento e Gestão das Lamas em Excesso das Estações de Tratamento de Águas Residuais. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL, Lisboa. pp. 15-58.
51. Robertsson, E., 2008. Evaluation of methods for sludge handling in combination with forest fertilization through analysis of sludge composition at Öresundsverket - Master's Thesis, Water and Environmental Engineering, Lund University, Lund, Sweden. pp. 25-50.
52. Rodrigues M.Â. Coutinho J.F., 2000. Eficiência de utilização do azoto pelas plantas, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança. pp.52
53. Roeleveld, P., Loeffen, P., Temmink, H., Klapwijk, B., 2004. Dutch analysis for P-recovery from municipal wastewater, Water Sci Technol. 49(10). pp.191-199.
54. SANEST, 2006. Projecto de Execução, Beneficiação do Tratamento de Águas Residuais do Sistema de Saneamento da Costa do Estoril. Referência interna *BTEG-Pe-PG-04 03(1)*. p. 53.
55. SANEST, 2010, 2011. Relatório e Contas, disponível no sítio oficial da entidade.
56. Schmidt, E.L., 1982. Nitrification in soil. In: Nitrogen in Agricultural Soils Agronomy 22, (ed.) Stevenson, F.J, Madison, Wiscosin, USA. pp. 229-283.
57. Sociedade de Estudos e Projectos-Agroges, 2005. Estudo do Modelo de Gestão de Lamas de ETAR da Região do Algarve (não publicado). Agrogos e ISA. pp.33-37.
58. Sousa, R. J. V., 2005. Estratégias de Gestão de Lamas das Estações de Tratamento de Águas Residuais. Extorsão de Lamas para Aplicação na Agricultura, Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.pp.18-71.
59. Spellman F. R., 1999. Spellman's Standard Handbook for Wastewater Operators – Advanced Level, Vol.3.
60. Varennes, Amarilis DE., 2003. Produtividade dos Solos e Ambiente. Escolar Editora, Lisboa. 465 pp.
61. Ventura J.,2002. Aspectos físicos e químicos da combustão - Engenharia de Segurança, Manual de Apoio á Unidade Curricular da Pós-Graduação em Segurança no Trabalho, IST, Lisboa.
62. <http://dryer.kurutma.net/>- Secadores Flash. Acesso: 15/10/2012
63. http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm. Acesso: 21/03/2011
64. <http://maps.google.pt/>- Localização ETAR da Guia Acesso: 27/09/2010
65. <http://www.agrogos.pt/>- Optimização da Gestão de Lamas da ETAR. Acesso: 08/01/2013

66. <http://www.ceep-phosphates.org>. Acesso: 10/01/2013
67. http://www.fcca.es/static_media/file_uploads/Tecnologiaslodos1.pdf Acesso: 17/11/2012
68. <http://www.inrb.pt/>- Recomendações de fertilização Acesso: 10/11/2012
69. <http://www.plateau-asp.com/pt> Acesso: 05/12/2012
70. <http://www.pluridoc.com/> Acesso: 17/10/2010
71. <http://www.rdpotech.com/> Acesso: 22/01/2012
72. <http://www.sanest.pt> Acesso: 12/10/2012

ANEXOS

Anexo I

Enquadramento legal da actividade da ETAR / Gestão de lamas, (Adaptado ao Diário da República Electrónico)

Quadro i-i Actividade Geral, Águas e Águas Residuais

ÂMBITO	IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO LEGISLATIVO	RESUMO
ACTIVIDADE GERAL		
Pré-Licenciamento	Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro	O presente diploma estabelece o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental (AIA) dos projectos públicos e privados susceptíveis de produzirem efeitos significativos no ambiente, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 85/337/CEE, do Conselho, de 27 de Junho, com as alterações introduzidas pela Directiva n.º 97/11/CE, do Conselho, de 3 de Março, e pela Directiva n.º 2003/35/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de Maio.
Actividade dos Serviços Municipais e Multimunicipais/Concessões	Decreto-Lei 223/2003, de 20 de Setembro	Estabelece o regime jurídico e aprova as bases dos contractos das concessões dos sistemas multimunicipais de recolha, tratamento e rejeição de efluentes
Actividade dos Serviços Municipais e Multimunicipais	Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de Novembro com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 14/2002 de 26 de Janeiro e com a clarificação posterior dada pelo Decreto-Lei n.º 103/2003, de 23 de Maio	Regime de exploração e gestão dos sistemas municipais e multimunicipais de captação, tratamento e distribuição de água para consumo público e de recolha, tratamento e rejeição de efluentes e RSU
ÁGUAS E ÁGUAS RESIDUAIS		
Gestão das Águas	Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro	Aprova a Lei da Água, transpondo para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2000/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro, e estabelecendo as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas.

Anexo I

Enquadramento legal da actividade da ETAR / Gestão de lamas (Adaptado ao Diário da República Electrónico)

Quadro i-ii Águas, Águas Residuais e Resíduos

ÂMBITO	IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO LEGISLATIVO	RESUMO
ÁGUAS E ÁGUAS RESIDUAIS		
Tratamento de Águas Residuais Urbanas	Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de Junho, alterado pelos Decretos-Leis n.º 348/98, de 9 de Novembro e 149/2004, de 22 de Junho e complementado pelo Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de Outubro	As disposições do presente diploma aplicam-se à recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas no meio aquático, procedendo à transposição para o direito interno da Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio de 1991, sendo complementado com a lista actualizada de identificação de zonas sensíveis e menos sensíveis
RESÍDUOS		
Gestão de Resíduos, Valorização agronómica	Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de Outubro, que revoga o Decreto -Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho	Estabeleceu e aperfeiçoou os mecanismos do regime jurídico da utilização agrícola das lamas de depuração e demais legislação regulamentar, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho, relativa à protecção do ambiente e, em especial, dos solos na utilização agrícola de lamas de depuração
Gestão de Resíduos, Valorização agronómica	Decreto-Lei n.º 97/235, de 3 de Setembro	Faz transposição para o direito interno das disposições contidas na Directiva n.º 91/676/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro de 1991, relativa à protecção das águas contra a poluição causada por nitratos de origem agrícola, mas também clarifica atribuições e responsabilidades das várias entidades com intervenção neste domínio.
Gestão de Resíduos, Regime Geral	Decreto-Lei 178/2006, de 5 de Setembro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei 73/2011, de 17 de Junho	Transposição da Directiva do Conselho 2008/98/EC de 19 Novembro, actual Lei-Quadro dos Resíduos portuguesa
Incineração e Co-incineração de Resíduos	Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril	O presente diploma estabelece o regime a que fica sujeita a incineração e a co-incineração de resíduos, com o objectivo de prevenir ou, tanto quanto possível, reduzir ao mínimo os seus efeitos negativos no ambiente, em especial a poluição resultante das emissões para a atmosfera, para o solo e para as águas superficiais e subterrâneas, bem como os riscos para a saúde humana, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2000/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro, relativa à incineração de resíduos.

Anexo I

Enquadramento legal da actividade da ETAR / Gestão de lamas, (Adaptado ao Diário da República Electrónico)

Quadro i-iii Resíduos, Energia e Qualidade do Ar

ÁMBITO	IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO LEGISLATIVO	RESUMO
RESÍDUOS		
Classificação de Resíduos	Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março	Transposição da Directiva 2001/573/CE, do Conselho, de 23 de Julho, que adopta a nova Lista Europeia de Resíduos e as características de perigo atribuíveis aos resíduos. A Lista de Resíduos que consta da presente portaria assegura a harmonização do normativo vigente em matéria de identificação e classificação de resíduos.
ENERGIA		
Recuperação e Valorização Energética/Cogeração	Lei n.º 19/2010, de 23 de Agosto	Da nova redacção aos artigos 4º, 5º, 6º e 18º do Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de Março, que estabelece o regime jurídico e remuneratório aplicável à energia eléctrica e mecânica e de calor útil produzidos em cogeração, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2004/8/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro.
Recuperação e Valorização Energética/Cogeração	Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de Março	Estabelece a disciplina da actividade da cogeração, transpondo a Directiva n.º 2004/8/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de Fevereiro. Revoga o Decreto-Lei n.º 538/99, de 13 de Dezembro.
Valorização energética/actividade electroprodutora	Decreto-Lei n.º 225/2007, de 31 de Maio	Revê critérios de remuneração ao nível do biogás e valorização energética de resíduos sólidos urbanos, tendo em consideração a efectiva componente renovável em cada tecnologia e dando prioridade àquelas tecnologias que contribuem para a implementação de uma estratégia nacional de redução de resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro e ainda diferencia a incineração de resíduos sólidos urbanos em bruto da incineração destes resíduos quando na forma de combustíveis derivados de resíduos (CDR).
QUALIDADE DO AR		
Controlo das Emissões	Decreto-Lei n.º 78/2004, de 3 de Abril e as respectivas Portarias: n.º 675/2009 e n.º 677/2009, de 23 de Junho	Estabelece o regime da prevenção e controlo das emissões de poluentes para a atmosfera, fixando os princípios, objectivos e instrumentos apropriados à garantia de protecção do recurso natural ar

Anexo II

Análise Qualitativa Solo e Lama

Quadro ii-i Principais Características do Solo utilizado no Ensaio de Incubação

Parâmetros	Valores determinados (Solo Podzolizado)
Análise granulométrica	
Elementos grosseiros (> 2 mm) (%)	2,13
Terra fina (< 2 mm) (%)	97,87
Areia grossa (%)	70,70
Areia fina (%)	17,00
Limo (%)	9,70
Argila (%)	2,60
Análise química	
Matéria Orgânica (%)	1,07
pH H ₂ O	5,87
pH KCl	4,79
Fósforo (P) extraível (mg kg ⁻¹)	47,18
Potássio (K) extraível (mg kg ⁻¹)	15,48
Fe extraível (mg kg ⁻¹)	34,50
Mn extraível (mg kg ⁻¹)	18,11
Matéria Orgânica (%)	1,07
Cu extraível (mg kg ⁻¹)	1,91
Zn extraível (mg kg ⁻¹)	1,53
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	1,06
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,20
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,11
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,17

Quadro ii-ii Quantidades estimadas de metais pesados, (teor em lama t.q.), Valores Limite legalmente estabelecidos

Elementos	Teor em lama Kg t ⁻¹	Valor estimado, (teor em lama), introduzido por aplicação unitária de kg/44,2 tha ⁻¹	Valores Limite permitidos, kg/ha/ano (D/L 276/2009)
Cádmio (Cd)	0,7 x 10 ⁻³	0,03	0,15
Cobre (Cu)	36 x 10 ⁻³	1,59	12
Níquel (Ni)	3,5 x 10 ⁻³	0,16	3
Chumbo (Pb)	9,7 x 10 ⁻³	0,43	15
Zinco (Zn)	0,3	13,26	30
Mercurio (Hg)	0,15 x 10 ⁻³	0,005	0,1
Crómio (Cr)	8,4 x 10 ⁻³	0,37	4,5

ANEXO III

Quadro iii-i Análise da disponibilidade do Azoto

Tabela síntese dos resultados da análise da disponibilidade do N							
Extracção 5:40			Concentração na terra N-NH ₄ ⁺ (mg N/5g terra)	Azoto potencialmente disponível a partir da lama (mg N-NH ₄ ⁺ /5 g terra)	Azoto potencialmente mineralizável a partir da lama (mg N-NH ₄ ⁺ /5 g terra)	Qte lama g lama /5g terra	Azoto potencialmente disponível (mg N-NH ₄ ⁺ / kg lama tq)
Amostra	Leitura no extracto	Leitura no extracto					
Solo T0-R1	0,779623154	3,10010182	0,031184926				
Solo T0-R2	0,572830995	2,752256757	0,02291324				
Solo T0-R3	0,621350079	3,112136192	0,024854003				
Solo T0-R4	0,636450482	3,277183613	0,025458019				
Solo T0-R5	0,66135162	3,528851862	0,026454065				
Solo+L T0-R1	2,776101049	2,827112824	0,111044042				
Solo+L T0-R2	2,464979116	2,744044779	0,098599165				
Solo+L T0-R3	3,096478506	3,523477752	0,12385914				
Solo+L T0-R4	2,720683336	2,795297269	0,108827333				
Solo+L T0-R5	2,592753009	2,940575272	0,10371012				
Solo T7-R1	2,637462924	0,102007932	0,105498517				
Solo T7-R2	2,393411494	0,019339185	0,09573646				
Solo T7-R3	2,515437209	0,120838385	0,100617488				
Solo T7-R4	2,967598816	0,139316467	0,118703953				
Solo T7-R5	3,356560714	0,148121548	0,134262429				
Solo+L T7-R1	6,247827118	0,114257627	0,249913085	0,144414568	0,064555452	0,1147	1259,063363
Solo+L T7-R2	6,01152702	0,117814834	0,240461081	0,144724621	0,069038696	0,1219	1187,240534
Solo+L T7-R3	6,2314665	0,139205117	0,24925866	0,148641172	0,049636035	0,1115	1333,104679
Solo+L T7-R4	6,190031296	0,134403306	0,247601252	0,128897299	0,045527985	0,123	1047,945522
Solo+L T7-R5	6,061707781	0,078584735	0,242468311	0,108205883	0,030949827	0,1307	827,8950473
Média				0,134976708	0,051941599	0,12036	1131,049829
Solo T0	0,654321266	Solo T7	2,774094231			NPD	
Solo +L T0	2,730199003	Solo+L T7	6,148511943			ppm	3,374417712

Anexo IV

Quadro iv-i Dados base para análise do investimento face à situação sem projecto

(Cenário actual / Opção I)

Dados do Projecto ETAR-RDP Pasteurisation	Valor	Unidades	Vida útil	Taxa de amortização
Quantidade do resíduo (lama)	13797	t/ano		
Quantidade do produto (biossólido A)	14660	t/ano		
<u>Situação sem projecto</u>				
Receitas	0	€/t		
Encargos anuais (gestão do resíduo)	36,75	€/t		
<u>Investimento</u>				
RDP Instalação	1.000.000,00	€	25	
Terreno	100.000,00	€		
Construção Civil (Parque de armazenamento + Edifício da instalação)	1.500.000,00	€		
<u>Situação com projecto</u>				
Receitas (fertilizante)	7,00	€/t		
Encargos anuais (lama)	8,00	€/t		
<u>Vida útil do projecto</u>				
	7	anos		
<u>Investimento realizado no primeiro ano</u>				
	100	%		
<u>Financiamento</u>				
Subs.capital	0%	%		
Autofinanciamento	5%	%		
Crédito médio prazo	40%	%		
Crédito curto prazo				
<u>Linha médio prazo</u>				
Carência	1	ano		25
Taxa juro	8	%/ano		
<u>Linha curto prazo</u>				
Taxa de juro	6	%/ano		50
<u>Diversos</u>				
Taxa media de inflação	1	%/ano		
Custo da oportunidade	5	%/ano		

Anexo IV

Quadro iv-ii Dinâmica do investimento e desempenho dos indicadores da rentabilidade do projecto

CASHFLOW ANTES DO FINANCIAMENTO									
	Situações/projecto	Situação com projecto							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Entradas									
Receitas	0	0	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620
Valor residual	0	0	0	0	0	0	0	0	910.000
Total de entradas	0	0	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	1.012.620
Saídas									
Investimento		2.600.000		0	0	0	0	0	0
Enc.exploração	507.040		110.376	110.376	110.376	110.376	110.376	110.376	110.376
CEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total saídas	507.040	2.600.000	110.376						

Benefício Líquido antes de financiamento

Total	-507.040	-2.600.000	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	902.244
Adicional	0	-2.092.960	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	1.409.284
Factor de Actualização		1	0,95238095	0,90702948	0,8638376	0,822702	0,7835262	0,7462154	0,7106813
B.L.Adicional Actualizado		-2.092.960	475.508	452.865	431.300	410.762	391.202	372.573	1.001.552
Cash-flow acumulado			-1.617.452	-1.164.587	-733.287	-322.525	68.677	441.250	1.442.802
VLA	1.442.802								
TIR	14%								
RBC	1,69								
PR	58 meses								
	4,82 anos								

Anexo IV

Quadro iv-iii Dinâmica do investimento (fluxo da tesouraria) em condições de financiamento

CASHFLOW APÓS FINANCIAMENTO										
	Situação s/projecto	Situação com projecto								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Benefício Líquido antes de financiamento										
Total	-507.040	-2.600.000	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	902.244
Adicional	0	2.092.960	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	1.409.284
Financiamento										
Autofinanciamento		130.000								
Subsídio em capital		0								
Crédito médio prazo		1.040.000								
Crédito curto prazo		922.960								
Total financiamento		2.092.960	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviço da dívida										
Juros médio prazo			83.200	83.200	62.400	41.600	20.800			
Amortizações médio prazo			0	260.000	260.000	260.000	260.000			
Juros curto prazo			27.689	27.689	0					
Amortizações curto prazo			461.480	461.480	0					
Total serviço da dívida		0	572.369	832.369	322.400	301.600	280.800	0	0	0
Financiamento Líquido		2.092.960	-572.369	-832.369	-322.400	-301.600	-280.800	0	0	0
Financiamento Líquido Deflacionado		2.092.960	-566.702	-815.968	-312.918	-289.832	-267.172	0	0	0
Benefício Líquido após financiamento										
Total	-507.040	507.040	-67.418	-316.684	186.365	209.452	232.112	499.284	1.409.284	
Adicional		0	439.622	190.356	693.405	716.492	739.152	1.006.324	1.916.324	
BLA Actualizado		507.040	444.018	194.182	714.416	745.584	776.856	1.068.233	2.054.558	
Cash-flow acumulado			951.058	1.145.239	1.859.655	2.605.240	3.382.096	4.450.328	6.504.887	

Anexo V

Quadro v-i Dados base para análise do investimento face à situação sem projecto

(Secagem térmica + Valorização da lama na qualidade de CDR / Opção II)

Dados do Projecto ETAR-RDP Pasteurisation	Valor	Unidades	Vida útil	Taxa de amortização
Quantidade do resíduo (lama)	13797	t/ano		
Quantidade do produto (biossólido A)	14660	t/ano		
<u>Situação sem projecto</u>				
Receitas anuais	35.320	€/t		
Encargos anuais (gestão do resíduo)	12	€/t		
<u>Investimento</u>				
RDP Instalação	1.000.000,00	€		
Terreno	100.000,00	€		
Construção Civil (Parque de armazenamento + Edifício da instalação)	1.500.000,00	€		
<u>Situação com projecto</u>				
Receitas (fertilizante)	7,00	€/t		
Encargos anuais (lama)	8,00	€/t		
<u>Vida útil do projecto</u>		anos	7	
<u>Investimento realizado no primeiro ano</u>	100	%		
<u>Financiamento</u>				
Subs.capital	10	%		
Autofinanciamento	5	%		
Crédito médio prazo	40	%		
Crédito curto prazo				
<u>Linha médio prazo</u>		%		25
Carência	1	ano		
Taxa juro	8	%/ano		
<u>Linha curto prazo</u>		%		50
Taxa de juro	6	%/ano		
<u>Diversos</u>				
Taxa media de inflação	1	%/ano		
Custo de oportunidade	5	%/ano		

Anexo V

Quadro v-ii Dinâmica do investimento e desempenho dos indicadores da rentabilidade do projecto

CASHFLOW ANTES DO FINANCIAMENTO										
	Situação s/projecto	Situação com projecto								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Entradas										
Receitas	0	0	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620	102.620
Valor residual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	910.000
Total de entradas	0	0	102.620	1.012.620						
Saídas										
Investimento		2.600.000		0	0	0	0	0	0	0
Enc.exploração	165.564		110.376	110.376	110.376	110.376	110.376	110.376	110.376	110.376
CEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total saídas	165.564	2.600.000	110.376							
Benefício Líquido antes de financiamento										
Total	-165.564	2.600.000	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	902.244
Adicional	0	2.434.436	157.808	1.067.808						
Factor de Actualização		1	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,8227025	0,783526	0,7462154	0,7106813	
B.L.Adicional Actualizado		2.434.436	150.293	143.137	136.320	129.829	123.647	117.759	758.871	
Cash-flow acumulado			2.284.143	2.141.006	2.004.686	1.874.857	1.751.210	-1.633.451	-874.580	
VLA	-874.580									
TIR	-8%									
RBC	0,64									
PR										

Anexo V

Quadro v-iii Dinâmica do investimento (fluxo da tesouraria) em condições de financiamento

CASHFLOW APÓS FINANCIAMENTO									
	Situação s/projecto	Situação com projecto							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Benefício Líquido antes de financiamento									
Total	-507.040	-2.600.000	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	-7.756	902.244
Adicional	0	-2.092.960	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	499.284	1.409.284
Financiamento									
Autofinanciamento		130.000							
Subsídio em capital		0							
Crédito médio prazo		1.040.000							
Crédito curto prazo		922.960							
Total financiamento		2.092.960	0	0	0	0	0	0	0
Serviço da dívida									
Juros médio prazo			83.200	83.200	62.400	41.600	20.800		
Amortizações médio prazo			0	260.000	260.000	260.000	260.000		
Juros curto prazo			27.689	27.689	0				
Amortizações curto prazo			461.480	461.480	0				
Total serviço da dívida		0	572.369	832.369	322.400	301.600	280.800	0	0
Financiamento Líquido		2.092.960	-572.369	-832.369	-322.400	-301.600	-280.800	0	0
Financiamento Líquido Deflacionado		2.092.960	-566.702	-815.968	-312.918	-289.832	-267.172	0	0
Benefício Líquido após financiamento									
Total	-507.040	507.040	-67.418	-316.684	186.365	209.452	232.112	499.284	1.409.284
Adicional		0	439.622	190.356	693.405	716.492	739.152	1.006.324	1.916.324
BLA Actualizado		507.040	444.018	194.182	714.416	745.584	776.856	1.068.233	2.054.558
Cash-flow acumulado			951.058	1.145.239	1.859.655	2.605.240	3.382.096	4.450.328	6.504.887

Anexo VI

Quadro vi-i Dados base para análise do investimento Plateau ASP face à situação sem projecto (Cenário actual / Opção I)

Dados do Projecto ETAR-Plateau ASP	Valor	Unidades	Vida útil	Taxa de amortização
Quantidade do resíduo (lama)	13797	t/ano		
Quantidade do produto (fertilizante)	6800	t/ano		
<u>Situação sem projecto</u>				
Receitas	0	€/t		
Encargos anuais (gestão do resíduo)	36,75	€/t		
<u>Investimento</u>				
Reactor ASP	2.500.000	€	25	
Terreno	0	€/m2		
<u>Situação com projecto</u>				
Receitas (fertilizante)	37,50	€/t		
Encargos anuais (lama)	12,89	€/t		
<u>Vida útil do projecto</u>		anos	7	
<u>Investimento realizado no primeiro ano</u>	100%	%		
<u>Financiamento</u>				
Subs.capital	0	%		
Autofinanciamento	0	%		
Crédito médio prazo	65	%		25
Crédito curto prazo				
<u>Linha médio prazo</u>				
Carência	1	ano		
Taxa juro	10	%/ano		
<u>Linha curto prazo</u>				
Taxa de juro	8	%/ano		50
<u>Diversos</u>				
Taxa média de inflação	1	%/ano		
Custo de oportunidade	5	%/ano		

Anexo VI

Quadro vi-ii Dinâmica do investimento e desempenho dos indicadores da rentabilidade do projecto

CASHFLOW ANTES DO FINANCIAMENTO									
	Situação s/projecto	Situação com projecto							
		0	1	2	3	4	5	6	7

Entradas

Receitas	0	0	255.000	255.000	255.000	255.000	255.000	255.000	255.000	255.000
Valor residual	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800.000
Total de entradas	0	0	255.000	2.055.000						

Saídas

Investimento		2.500.000		0	0	0	0	0	0	0
Enc.exploração	507.040		177.843	177.843	177.843	177.843	177.843	177.843	177.843	177.843
CEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total saídas	507.040	2.500.000	177.843							

Benefício Líquido antes de financiamento

Total	-507.040	2.500.000	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	1.877.157
Adicional	0	1.992.960	584.196	2.384.196						
Factor de Actualização		1	0,952381	0,9070295	0,863838	0,8227025	0,783526	0,746215	0,710681	
B.L.Adicional Actualizado		1.992.960	556.378	529.883	504.651	480.620	457.733	435.936	415.100	1.694.404
Cash-flow acumulado			-1.436.583	-906.699	-402.049	78.571	536.305	972.241	1.666.645	2.666.645
VLA	2.666.645									
TIR	23%									
RBC	2,34									
PR	51 meses									
	4,24 anos									

Anexo VI

Quadro vi-iii Dinâmica do investimento (fluxo da tesouraria) em condições de financiamento

CASHFLOW APÓS FINANCIAMENTO										
	Situação s/projecto	Situação com projecto								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Benefício Líquido antes de financiamento										
Total	-507.040	-2.500.000	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	77.157	1.877.157
Adicional	0	-1.992.960	584.196	584.196	584.196	584.196	584.196	584.196	584.196	2.384.196
Financiamento										
Autofinanciamento		0								
Subsídio em capital		0								
Crédito médio prazo		1.625.000								
Crédito curto prazo		367.960								
Total financiamento		1.992.960	0	0	0	0	0	0	0	0
Serviço da dívida										
Juros médio prazo			162.500	162.500	121.875	81.250	40.625			
Amortizações médio prazo			0	406.250	406.250	406.250	406.250			
Juros curto prazo			14.718	14.718	0					
Amortizações curto prazo			183.980	183.980	0					
Total serviço da dívida		0	361.199	767.449	528.125	487.500	446.875	0	0	0
Financiamento Líquido		1.992.960	-361.199	-767.449	-528.125	-487.500	-446.875	0	0	0
Financiamento Líquido Deflacionado		1.992.960	-357.622	-752.327	-512.593	-468.478	-425.186	0	0	0
Benefício Líquido após financiamento										
Total	-507.040	507.040	-280.466	-675.170	-435.436	-391.321	-348.030	77.157	1.877.157	
Adicional	0	0	226.574	168.130	71.603	115.719	159.010	584.196	2.384.196	
BLA Actualizado		507.040	228.840	171.510	73.773	120.417	167.121	620.136	2.556.181	
Cash-flow acumulado			735.880	907.389	981.163	1.101.580	1.268.701	1.888.837	4.445.019	

Anexo VII

Quadro vii-i Dados base para análise do investimento Plateau ASP face à situação sem projecto (Secagem térmica + Valorização da lama na qualidade de CDR / Opção I)

Dados do Projecto ETAR-Plateau ASP	Valor	Unidades	Vida útil	Taxa de amortização
Quantidade do resíduo (lama)	29200	t/ano		
Quantidade do produto (fertilizante)	13600	t/ano		
<u>Situação sem projecto</u>				
Receitas	74.752	€/t		
Encargos anuais (gestão do resíduo)	350.400	€/t		
<u>Investimento</u>				
Equipamento		anos	25	
Reactor ASP	2.500.000	€		
Terreno	0	€/m ²		
<u>Situação com projecto</u>				
Receitas (fertilizante)	37,50	€/t		
Encargos anuais (lama)	12,89	€/t		
<u>Projecto</u>		anos	7	
<u>Investimento realizado no primeiro ano</u>	100	%		
<u>Financiamento</u>				
Subs.capital	10	%		
Autofinanciamento	15	%		
Crédito médio prazo	50	%		25
Crédito curto prazo				
<u>Linha médio prazo</u>				
Carência	1	ano		
Taxa juro	10	%/ano		
<u>Linha curto prazo</u>				
Taxa de juro	8	%/ano		50
<u>Diversos</u>				
Taxa media de inflação	1	%/ano		
Custo de oportunidade	5	%/ano		

Anexo VII

Quadro vii-ii Dinâmica do investimento e desempenho dos indicadores da rentabilidade do projecto

CASHFLOW ANTES DO FINANCIAMENTO									
	Situações/projecto	Situação com projecto							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Entradas									
Receitas	74.752	0	510.000	510.000	510.000	510.000	510.000	510.000	510.000
Valor residual	0	0	0	0	0	0	0	0	1.800.000
Total de entradas	74.752	0	510.000	510.000	510.000	510.000	510.000	510.000	2.310.000
Saídas									
Investimento		2.500.000		0	0	0	0	0	0
Enc.exploração	350.400		376.388	376.388	376.388	376.388	376.388	376.388	376.388
CEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total saídas	350.400	2.500.000	376.388						
Benefício Líquido antes de financiamento									
Total	-275.648	2.500.000	133.612	133.612	133.612	133.612	133.612	133.612	1.933.612
Adicional	0	2.224.352	409.260	409.260	409.260	409.260	409.260	409.260	2.209.260
Factor de Actualização		1	0,952381	0,9070295	0,8638376	0,82270247	0,7835262	0,74622	0,7106813
B.L.Adicional Actualizado		2.224.352	389.771	371.211	353.534	336.699	320.666	305.396	1.570.080
Cash-flow acumulado			1.834.581	-1.463.370	1.109.836	-773.136	-452.470	147.074	1.423.006
VLA	1.423.006								
TIR	11%								
RBC	1,64								
PR	73 meses								
	6,09 anos								

Anexo VII

Quadro vii-iii Dinâmica do investimento (fluxo da tesouraria) em condições de financiamento

CASHFLOW APÓS FINANCIAMENTO									
	Situação s/projecto	Situação com projecto							
		0	1	2	3	4	5	6	7
Benefício Líquido antes de financiamento									
Total	-275.648	-2.500.000	133.612	133.612	133.612	133.612	133.612	133.612	1.933.612
Adicional	0	-2.224.352	409.260	409.260	409.260	409.260	409.260	409.260	2.209.260
Financiamento									
Autofinanciamento		375.000							
Subsídio em capital		250.000							
Crédito médio prazo		1.250.000							
Crédito curto prazo		349.352							
Total financiamento		2.224.352	0	0	0	0	0	0	0
Serviço da dívida									
Juros médio prazo			125.000	125.000	93.750	62.500	31.250		
Amortizações médio prazo			0	312.500	312.500	312.500	312.500		
Juros curto prazo			13.974	13.974	0				
Amortizações curto prazo			174.676	174.676	0				
Total serviço da dívida		0	313.650	626.150	406.250	375.000	343.750	0	0
Financiamento Líquido		2.224.352	-313.650	-626.150	-406.250	375.000	-343.750	0	0
Financiamento Líquido Deflacionado		2.224.352	-310.545	-613.812	-394.302	360.368	-327.066	0	0
Benefício Líquido após financiamento									
Total	-275.648	275.648	-176.933	-480.200	-260.690	226.756	-193.454	133.612	1.933.612
Adicional		0	98.715	-204.552	14.958	48.892	82.194	409.260	2.209.260
BLA Actualizado		275.648	99.703	-208.664	15.411	50.878	86.386	434.438	2.368.626
Cash-flow acumulado			375.351	166.687	182.098	232.975	319.362	753.799	3.122.425

