



# Potencial bioenergético dos excrementos de animais de estimação, no atual contexto de gestão de resíduos biodegradáveis em Portugal

LARYSA YURCHENKO

Novembro de 2016

Potencial bioenergético dos excrementos de animais  
de estimação, no atual contexto de gestão de resíduos  
biodegradáveis em Portugal

Larysa Yurchenko

Dissertação submetida para a obtenção do grau de  
Mestre em Energias Sustentáveis

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica

novembro de 2016



Relatório da Unidade Curricular de Dissertação/Projeto/Estágio do 2º ano do  
Mestrado em Energias Sustentáveis

Candidato: Larysa Yurchenko, N° 1110947, [1110947@isep.ipp.pt](mailto:1110947@isep.ipp.pt)

Empresa: SulDouro



Orientação Científica: Profª Doutora Nídia de Sá Caetano, [nsc@isep.ipp.pt](mailto:nsc@isep.ipp.pt)

Supervisão: Eng.º Joel Almeida Fernandes Braga, [joelbraga@suldouro.pt](mailto:joelbraga@suldouro.pt)

Mestrado em Energias Sustentáveis  
Departamento de Engenharia Mecânica



*O medo é o primeiro inimigo natural que o homem tem de vencer em seu caminho para o conhecimento.*

*Carlos Castaneda*



## *Agradecimentos*

Quero aqui expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram, de forma direta ou indireta, para a concretização deste trabalho.

Agradeço aos meus professores do Mestrado em Energias Sustentáveis bem como aos funcionários do Instituto Superior da Engenharia do Porto.

Um agradecimento muito especial à minha diretora e orientadora, Doutora Nídia Sá Caetano, por toda a paciência demonstrada, que me tratou sempre com um carinho especial sentindo-me como se fosse sua filha. Por todos os conselhos valiosos que me foram transmitidos ao longo deste percurso enquanto desenvolvi o meu tema.

À empresa *Suldouro*, onde fui recebida muito bem, como se já fizesse parte da família que se chama *Suldouro*. Agradeço principalmente à equipa do Centro de Valorização Orgânica, ao Engenheiro Joel Braga que sempre mostrou a sua disponibilidade, profissionalismo e simpatia. Os técnicos, Sr. Azevedo e Sr. Pedro, com quem eu aprendi os pormenores de funcionamento da central, dia após dia, no período do tempo de estágio.

À minha pequena e maravilhosa família que está comigo em Portugal. Ao meu amável esposo Andriy, obrigada pelo oceano de paciência comigo e um especial pedido de desculpa pelas noites em que dormiste sozinho, enquanto eu estava a estudar. Aos meus filhos Yuriy e Valeria, agradeço pelo apoio incondicional demonstrado ao longo dos anos, ficando obrigados inúmeras vezes a fazer o próprio jantar e a passar o tempo na ausência da mãe.

Do fundo do meu coração, agradeço a todos acima referidos por contribuírem e terem sido essenciais para a realização deste sonho importantíssimo para mim.



## *Resumo*

No âmbito da política nacional de gestão dos resíduos urbanos e face à necessidade de desviar os resíduos urbanos biodegradáveis de aterro e aumentar a taxa de recuperação dos recicláveis, os investimentos nesta área foram direcionados para as unidades de tratamento mecânico e biológico.

Neste trabalho de dissertação explorou-se o caso prático do sistema de gestão de resíduos urbanos da *Suldouro* (unidade de valorização e tratamento de resíduos urbanos), de modo a avaliar a possibilidade de tratamento dos excrementos de animais de estimação, assim como antecipar possíveis alterações no processo produtivo. Quanto ao desempenho do sistema de tratamento de resíduos da *Suldouro* verificou-se que cerca de 50% de todos os resíduos que entram na CVO é matéria orgânica, existindo ainda outros resíduos com pouca qualidade, provocando sobremaneira um grande desgaste nos equipamentos com o consequente investimento para a reparação e manutenção dos equipamentos (como por exemplo, o *Pulper*) que a longo prazo traria inúmeros benefícios, o que faria com que as cidades de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira subissem no ranking das cidades sustentáveis da UE, de acordo com as metas que estão estabelecidas para o ano de 2020.

Uma parte dos resíduos urbanos indiferenciados é constituída por resíduos orgânicos de animais de estimação. No tocante à quantidade de animais de estimação em Portugal, foi feito um estudo que veio a provar que os novos estilos de vida têm provocado um aumento do número de animais que habitam juntamente com as famílias nas habitações, no entanto este estudo não inclui os animais de companhia que habitam no exterior (por exemplo no quintal ou no jardim).

Do ponto de vista experimental, foram realizados ensaios de digestão anaeróbia de dejetos de gato isoladamente e em misturas com a biomassa residual alimentada ao digestor anaeróbio da *Suldouro*, tendo sido concluído que existe potencial metanogénico naqueles resíduos.

### ***Palavras-Chave***

Excrementos de animais de estimação, gestão de resíduos, potencial bioenergético



## *Abstract*

In the context of the national policy on urban waste management and in view of the need to divert biodegradable municipal waste from landfills and increase the rate of recovery of recyclables, investments in this area have been directed towards mechanical and biological treatment plants.

In this work, the practical case of the urban waste management system of the *Suldouro* (urban waste recovery and treatment unit) was explored in order to evaluate the possibility of treating pets' manure, and to anticipate the need for adaptation on the production process.

Regarding the performance of the *Suldouro* waste treatment system, it was verified that about 50% of all the waste entering the CVO is organic matter with poor quality, causing a great deal of wear and tear on the equipment with the consequent investment for repair and maintenance (*Such as Pulper*) which in the long term would bring numerous benefits, which would make the cities of Vila Nova de Gaia and Santa Maria da Feira rise in the ranking of sustainable cities in the EU, according to the goals that are established for 2020.

A part of municipal solid waste consists of organic wastes of pets. With regard to the number of pets in Portugal, a study was made that proved that new lifestyles have caused an increase in the number of animals that live together with the families in the dwellings, however this study does not include animals (eg. in the yard or in the garden).

From the experimental point of view, it was carried out tests of anaerobic digestion of cat waste alone and in mixtures with the residual biomass fed to the anaerobic digester of *Suldouro*, having been concluded that there is methane potential in those residues, so its selective collection should be implemented.

### ***Keywords***

Bioenergetic potential, pets' manure, waste management



## *Declaração*

Larysa Yurchenko declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas, com identificação da fonte.

*10 de Novembro de 2016*



---



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>DECLARAÇÃO</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	<b>XXI</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. <i>Contextualização</i> .....	1
1.2. <i>Objetivos</i> .....	6
1.3. <i>Organização do relatório</i> .....	7
<b>2. ESTADO DE ARTE</b> .....	<b>9</b>
2.1. <b>CONTRIBUTO DOS RESÍDUOS PARA O USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS DA UE E PORTUGAL</b> .....	9
2.2. <b>A EVOLUÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS URBANOS</b> .....	10
<i>Estes</i> .....	12
2.3. <b>MAPA DE REGISTO DE RESÍDUOS URBANOS (MRRU)</b> .....	18
2.4. <b>CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS</b> .....	19
2.5. <b>TIPOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS</b> .....	23
2.5.1. <i>Tratamento Mecânico-Biológico</i> .....	24
2.5.1.1. <i>Tratamento Mecânico</i> .....	25
2.5.1.2. <i>Tratamento Biológico</i> .....	29
<b>3. CASO DE ESTUDO</b> .....	<b>41</b>
3.1. <i>Apresentação da empresa</i> .....	41
3.2. <i>Missão da Suldouro e projetos realizados pela empresa</i> .....	43
3.3. <i>Metas de PERSU 2020 específicas para o sistema</i> .....	45
3.4. <i>Funcionamento da Central de Valorização Orgânica da Suldouro</i> .....	46
3.4.1. <i>Tratamento mecânico (pré-tratamento seco)</i> .....	46
3.4.2. <i>Tratamento hidromecânico (tratamento húmido)</i> .....	48
3.4.3. <i>Tratamento biológico</i> .....	52
3.5. <i>Análise ao desempenho do sistema da Suldouro</i> .....	57
<b>4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>59</b>

4.1.	<i>Estudo da quantidade de animais de estimação.....</i>	60
4.2.	<i>Estudo da quantidade de animais de estimação em Vila Nova de Gaia e Santa Maria de Feira 61</i>	
4.3.	<i>Desempenho do sistema de tratamento de resíduos da Suldouro e condicionantes.....</i>	62
4.4.	<i>Trabalho experimental.....</i>	63
4.4.1.	<i>Caraterização dos resíduos a usar no estudo.....</i>	63
4.4.2.	<i>Estudos no laboratório.....</i>	65
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXO A. INFRAESTRUTURAS EXISTENTES EM PORTUGAL CONTINENTAL.....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXO B. COMPOSIÇÃO FÍSICA MEDIA NOS RU RECOLHIDOS INDIFERENCIADAMENTE PARA TMB .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXO C. TRATAMENTO MECÂNICO DE FRAÇÃO MAIOR DO QUE 80 MM .....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXO D. TRATAMENTO MECÂNICO DE FRAÇÃO MENOR DO QUE 80 MM .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXO E. TRATAMENTO HIDROMECAÂNICO.....</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXO F. PRODUÇÃO DE BIOGÁS E COMPOSTAGEM.....</b>	<b>91</b>
	<b>ANEXO G. EXEMPLO DE CÁLCULO: .....</b>	<b>93</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da potência instalada em renováveis por tecnologia [MW] [9] .....	5
Figura 2 – Amigos do ambiente. [11] <a href="http://www.fotosdeanimais.org">www.fotosdeanimais.org</a> .....	7
Figura 3 – Destino dos RU do grupo EGF desde 2003 e perspetiva para 2020 [17]. .....	16
Figura 4 – Principais fluxos de resíduos (milhares de toneladas) nos sistemas de gestão de RU em Portugal Continental e Regias Autónomas de Açores e Madeira (RAAM) em 2020 [16]. .....	17
Figura 5 – Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos em Portugal Continental [20] .....	19
Figura 6 – Caracterização física média dos RU produzidos.....	20
Figura 7 – Destino direto dos RU em Portugal [22].....	21
Figura 8 – Hierarquia da gestão de resíduos [24].....	22
Figura 9 – Imagem da triagem .....	26
Figura 10 – Imagem do Abre-sacos .....	26
Figura 11 – Imagem do Trommel .....	27
Figura 12 – Imagem do Separador Balístico por dentro .....	28
Figura 13 – Imagem do Separador Ótico .....	28
Figura 14 – Imagem do Separador Magnético .....	29
Figura 15 – Imagem do processo de compostagem caseira .....	31
Figura 16 – Subdivisões da vermitecnologia [29 ].....	32
Figura 17 – Vermicompostor .....	35
Figura 18 – Esquema do processo de digestão anaeróbia .....	37
Figura 19 – Composição Física média nos RU recolhidos indiferenciadamente encaminhados para TMB [43] .....	43
Figura 20 – <i>Pulper</i> nas instalações <i>Suldouro</i> .....	48
Figura 21 – Válvulas do <i>Pulper</i> nas instalações <i>Suldouro</i> .....	50
Figura 22 – Imagem da descarga de fração pesada .....	50
Figura 23 - Gráfico da evolução da temperatura ao longo do tempo no reator (1) .....	66
Figura 24 - Gráfico da evolução do pH ao longo do tempo no reator (1) .....	66
Figura 25 - Gráfico da evolução da produção de biogás ao longo do tempo no reator (1) .....	66
Figura 26 – Esquema do reator montado no laboratório .....	67
Figura 27 – Imagem do depósito de biogás real com o volume final do biogás produzido .....	67
Figura 28 – Início do arranque dos reatores 2 e 3 com melhoria do sistema .....	68
Figura 29 – Temperatura do banho de água agitado termostaticado em função do tempo .....	69
Figura 30 – Valor de pH nos reatores 2 e 3 em função do tempo .....	69
Figura 31 – Valor de volume de biogás produzido nos reatores 2 e 3 .....	70
Figura 32 – Imagem real dos reatores 2 (A) e 3 (B) com o volume final do biogás produzido.....	70



## Índice de Tabelas

Tabela 1-Metas Referência Nacional do PERSU 2020 [16] .....	14
Tabela 2- Metas Nacionais do PERSU 2020 [16].....	15
Tabela 3- Avaliação do cumprimento de metas nacionais no cenário BAU 2020 [16]. .....	17
Tabela 4- Quantitativos de RU produzidos (10 <sup>3</sup> t). [22] .....	20
Tabela 5- Desempenho de Portugal face às metas preconizadas pelo PERSU 2020 [rel. Estado Ambiente 2015].....	23
Tabela 6- Principais diferenças entre vermicompostagem e a compostagem [29].....	34
Tabela 7 - Dados relativos aos resíduos recolhidos e territoriais dos concelhos integrantes do sistema multimunicipal no ano de 2015 .....	42
Tabela 8 - Objetivos e metas do PERSU 2020 para a <i>Suldouro</i> [41].....	45
Tabela 9 - Resumo dos resultados do questionário efetuado a clínicas veterinárias. ....	62
Tabela 10 - Resumo dos dados obtidos ao longo da observação .....	63
Tabela 11 - Valores nutricionais da comida dos gatos .....	64
Tabela 12 - Teor de humidade das amostras .....	64
Tabela 13 - Percentagem de carbono obtido .....	64
Tabela 14 - Teor de azoto obtido .....	64
Tabela 15- Teor de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis .....	65



## *Acrónimos*

AAA	–	Associação dos Amigos dos Animais
AGV	–	Ácidos gordos voláteis
Ca(OH) <sub>2</sub>	–	Hidróxido de cálcio
CaCO <sub>3</sub>	–	Carbonato de cálcio
CDR	–	Combustível Derivado de Resíduos
CH <sub>4</sub>	–	Metano
CO <sub>2</sub>	–	Dióxido de carbono
CVO	–	Central de Valorização Orgânica
DBEA	–	Divisão de Bem-Estar Animal
DIRMA	–	Divisão de Identificação Registo e Movimentação Animal
DSPA	–	Direção Geral de Alimentação e Veterinários
ECAL	–	Embalagens de cartão para alimentos líquidos
EGF	–	Empresa de Gestão de Resíduos
ENRRUBDA	–	Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros
ETAR	–	Estações de Tratamento de Águas Residuais
FILM	–	Sacos de plástico e embalagens finos de plástico
GEE	–	Gases com efeito de estufa
GRS	–	Grit Removal System

H <sub>2</sub> S	–	Sulfeto de hidrogénio
m/m	–	Razão massa por massa
MRRU	–	Mapa de Registo de Resíduos Urbanos
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	–	Carbonato de cálcio
NaHCO <sub>3</sub>	–	Bicarbonato de sódio
NaOH	–	Hidróxido de sódio
NH <sub>3</sub>	–	Amónia
NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	–	Bicarbonato de amónio
O <sub>2</sub>	–	Oxigénio
OMVN	–	Ordem dos Médicos Veterinários
OPEP	–	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
P/C	–	Poliméricos
PAA	–	Programa de Ação em Matéria de Ambiente
PEAD	–	Polietileno de alta densidade
PERSU	–	Plano Estratégico para a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
PET	–	Polímero termoplástico
pH	–	Potencial hidrogeniónico
PIRSUE	–	Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados
REEE	–	Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos
RO	–	Resíduos orgânicos

RU	–	Resíduos Urbanos
RUB	–	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SGRU	–	Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos
SIPACE	–	Sistema de informação do Plano de Aprovação e Controlo dos Estabelecimentos
SIRA	–	Sistema de Identificação e Recuperação Animal
SIRAPA	–	Sistema Integrado de Registo Agência Portuguesa do Ambiente
SNMV	–	Sindicato dos Médicos Veterinários
SO <sub>2</sub>	–	Dióxido de enxofre (ou anidrido sulfuroso)
SO <sub>3</sub>	–	Trióxido de enxofre (ou anidrido sulfúrico)
TM	–	Tratamento mecânico
TMB	–	Tratamento mecânico biológico
UE	–	União Europeia
v/v	–	Razão volume por volume



# 1. Introdução

## 1.1. Contextualização

Para a história da humanidade o símbolo energético do século XX foram os hidrocarbonetos, nomeadamente provenientes de matérias-primas fósseis. A eletricidade, o automóvel, habitações com aquecimento, meios de transporte aéreos, entre outros aspetos do nosso quotidiano que são tomados por bens comuns de conforto, surgiram graças ao facto do Homem ter aprendido a extrair energia dos recursos naturais com elevado teor energético (carvão, petróleo, gás natural). Com a ajuda da mesma, foi possível transformar o nosso planeta de uma forma irreconhecível, criando para uma grande parte da humanidade condições de bem-estar. A maioria esmagadora da energia utilizada no dia-a-dia em todo o mundo provém das profundezas do nosso planeta. Não é de espantar o facto de que aqueles que detêm o poder, o conhecimento e domínio das práticas de extração dos recursos naturais, tentam um poder quase incontrolável sobre o planeta. Quem detém a energia, domina o mundo. Este poder consegue seleccionar ou derrubar presidentes, controlar através de *lobbies* a elite política, financiar guerras. É se testemunha do desenrolar de um dos maiores dramas da humanidade: a existência de um *lobby* da extração dos recursos naturais fósseis, que crescentemente tem vindo a ser contrariado pela utilização de energia proveniente de fontes energéticas renováveis, diminuindo a necessidade dos hidrocarbonetos.

Num passado não muito longínquo as fontes de energia renováveis tinham um aproveitamento reduzido, o sol brilhava, o vento soprava, mas o Homem raramente utilizava estes recursos como alvo de estudos laboratoriais ou aproveitava-os para a esfera da aeronáutica, nomeadamente as estações espaciais. No entanto, hoje em dia esse paradigma mudou.

Os recursos fósseis hoje em dia, tal como desde a descoberta da sua aplicabilidade, ocupam um lugar central no fornecimento de energia à humanidade. Em 1973, o petróleo, gás natural e carvão representavam 86,7% das fontes de energia mundiais. Em 2012 esta percentagem desceu para 81,7%, mas a produção e o consumo da mesma aumentou duas vezes. Na produção mundial de energia elétrica os hidrocarbonetos continuam a dominar, sendo eles a fonte para 70% da energia elétrica, cerca de 11% são fornecidos pelas estações nucleares. A luz, aquecimento, transportes e os principais fornecedores do bem-estar continuam a estar dependentes das fontes de energia não-renováveis encontrando-se o seu controlo nas mãos dos lobistas petrolíferos [1].

Ao mesmo tempo, os mercados das energias não-renováveis sofrem constantemente de alterações repentinas. A energia limpa, proveniente de fontes renováveis cada vez mais se espalha pelo mundo. Neste momento o mercado da matéria-prima energética está a mudar rapidamente.

A União Europeia (UE), a segunda maior economia mundial, consome um quinto da energia produzida a nível mundial, mas possui muito poucas reservas energéticas. A dependência energética europeia tem consequências enormes para a sua economia. Compra petróleo aos países da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP), à Rússia, e gás natural à Argélia, Noruega e à Rússia. Esta situação implica para a UE uma perda de riqueza superior a 350 mil milhões de euros por ano e os custos da energia aumentam constantemente.

O atual objetivo da UE é que até 2020, 20% do seu consumo de energia seja satisfeito a partir de fonte renovável (sendo de 30% até 2030). A promoção deste objetivo a nível europeu fomentou o aumento dramático da capacidade de produção de energia de fontes de energias renováveis. As fontes de energia renovável são um elemento fundamental da estratégia energética da UE a longo prazo, porque contribuem para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (meta de redução destas emissões em 20% até 2020) e

diminuem as importações de energia que ainda têm que ser feitas, tornando-a mais independente e segura. Este sector económico, em plena expansão, contribui para a liderança tecnológica na Europa, proporcionando aos Estados-Membros e às suas regiões novos “empregos verdes” e exportação de elevado valor acrescentado [2], que nos permitiu alcançar um patamar de excelência naquele que é hoje o desígnio do século XXI: a construção de um futuro sustentável para a sociedade, para a economia e para o ambiente. Em março de 2011, a Comissão Europeia apresentou os seus planos para a eficiência energética e o roteiro para uma economia de baixo carbono em 2050, que prevê a redução de entre 80 a 90% das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) face ao nível de emissões de 1990. A Europa sabe que, se até 2050, não fizer a transição para uma economia de baixo carbono, o seu futuro está comprometido. Os esforços convergem já nesse sentido: o “Roteiro para a Energia 2050”, apresentado pela Comissão Europeia em finais de 2011, apresentou os caminhos possíveis a seguir, que passam pela descarbonização do sistema energético, aumento da eficiência energética e das energias renováveis, investimentos precoces e economias de escala. É nesse sentido que vão surgindo vários instrumentos políticos, do qual se destaca a Diretiva para a Eficiência Energética que visa contribuir para que a Europa atinja mais facilmente a meta de 2020 [2].

A Dinamarca tem investido fortemente na energia eólica, marítima. Desde 2014 as suas turbinas produziram 39,1% da procura da eletricidade e os novos projetos que já estão planeados permitirão à Dinamarca pensar em atingir o objetivo de produzir 50% da energia a partir de fonte renováveis, antes mesmo do prazo estipulado de 2020 [3]. Na Dinamarca, os parques eólicos já produzem frequentemente mais eletricidade do que a que país consome e, por isso, esta exporta-a para a Alemanha, Noruega e Suécia. Os países nórdicos estão muito bem posicionados ao nível dos sistemas de produção de energia de fontes renováveis.

A Alemanha tem vindo a aumentar anualmente a produção de energia renovável. Segundo o *Agora Energiewende* [4], estas fontes de energia representam 33% da capacidade instalada no ano passado, mas a construção de novos parques eólicos está a aumentar significativamente essa quota. Está planeado que o país atinja 100% de energia de fontes renováveis em 2050. Em termos europeus a Alemanha é apenas um dos países que está a apostar mais fortemente nas renováveis.

A Áustria já anunciou ter atingido a meta de 100% de renováveis, sobretudo energia hídrica (barragens), solar e biomassa.

Em Espanha as fontes eólica e solar lideraram a expansão do parque de geração elétrica e atualmente representam, respetivamente 21% e 6% de capacidade de geração.

A posição geográfica de Portugal proporciona-lhe uma excelente oportunidade de expansão, face às potencialidades de produção energética renovável e à proximidade ao gás natural, oriundo de África. Com base nos acordos firmados no contexto da UE e novos investimentos previstos, Portugal está já a aumentar as suas exportações energéticas (só este ano passou de 3% para 7% de exportação de energia para Espanha) e deverá, no contexto de uma estratégia conjunta da Península Ibérica, assumir-se como uma solução para resolver o problema da excessiva dependência energética do centro e leste europeu em relação à Rússia, sobretudo ao nível do abastecimento de gás natural. Portugal e Espanha deverão atingir os 11% de interconexão elétrica já em 2016 e com perspetivas de a exportação nacional chegar aos 15% até 2020 [5]. O atual Governo teve uma posição pró-ativa quando estipulou que a meta para Portugal em 2030 era de 40% de renováveis no consumo total de energia. Para se obter uma percentagem de 40% de fontes renováveis na energia total ter-se-á que conseguir entre 75 e 80% de fontes renováveis na eletricidade [6]. Entre as 6h45 min do dia 7 de maio (sábado) até as 17h45 min do dia 11 de maio (quarta-feira) de 2016, Portugal atingiu uma importante meta, tendo conseguido abastecer a rede elétrica durante 107 horas exclusivamente com energia produzida com fontes renováveis, incluindo energia eólica, hídrica, solar e biogás. Esta realidade contribuiu para um impacto positivo na economia portuguesa, porque permitiu reduzir drasticamente as importações de combustíveis fósseis, bem como uma redução dramática da emissão de gases com efeito de estufa. Em 2015, as energias renováveis forneceram 48% da energia elétrica do país, sendo a eólica a que mais contribuiu, com 22% [7].

Para atingir todos estes objetivos é necessário um mercado único na UE, ou seja, uma única legislação que integre os vinte e sete mercados de energia europeus numa única União da Energia, fomentando uma maior harmonização, que permitirá aprofundar o mercado interno; pretende-se ainda reforçar o financiamento para a obtenção de maior eficiência energética com valores que, até 2020, poderão atingir um bilião de euros, considerando o investimento global em todo o sector da energia. No aspeto do investimento associado à investigação, assume também particular relevo o programa”

Horizonte 2020”, que é o principal instrumento da UE para promover a investigação no domínio da energia. A ele estará afeta uma verba na casa dos 6000 milhões de euros, destinada ao desenvolvimento de uma energia limpa e sustentável [8].

Portugal assumiu o 5º objetivo mais ambicioso a nível de incorporação de energia renovável. Competirá ao sector elétrico dar um contributo essencial para o cumprimento dessa meta. Assim foram referidos os valores de potência atuais por fonte renovável e os objetivos para 2020, que se representam na Figura 1.



Figura 1 – Evolução da potência instalada em renováveis por tecnologia [MW] [9]

Neste contexto, a energia da biomassa e dos bioresíduos, constitui também um dos eixos prioritários ao nível do setor renovável de energia.

Em Portugal nos últimos anos a biomassa desempenha um papel importante na produção de energia. Atualmente, a capacidade instalada é de cerca de 662 MW, dos quais 459 MW em cogeração e 177 MW em centrais dedicadas. Até 2020 prevê-se uma capacidade instalada total de 769 MW. A capacidade atribuída em centrais dedicadas será conciliada com a disponibilidade de biomassa florestal, sendo agilizada a concentração de potência para a obtenção de economias de escala, sempre que justificável e salvaguardando os equilíbrios intersectoriais e territoriais. As políticas agrícolas e ambientais em Portugal no aproveitamento do biogás têm de promover uma forma mais racional e integrada.

A utilização de biogás em centrais exclusivamente dedicadas à produção de elétrica foi, no passado, a solução dominante para o aproveitamento deste recurso, estando previsto, até 2020, a instalação de uma capacidade de 60 MW. A maior parte na produção de biogás são Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), aterros sanitários ou exploração agropecuárias. A localização isolada destes centrais tem apresentado algumas limitações no aproveitamento útil do calor que está em excesso na produção de energia elétrica a partir de biogás. Sistemas de cogeração podem melhorar a potencial de eficiência de aproveitamento de calor produzido para substituir os consumos térmicos de outras fontes não renováveis com consumidores próximos do local.

Portugal fundamenta a sua aposta nos biocombustíveis na produção de substitutos de gasóleo e gasolina: a introdução no mercado de bioetanol, a partir de 2015, numa escala razoável que possa já contribuir para a quota das renováveis no sector dos transportes.

A obrigação de incorporação de biodiesel no gasóleo rodoviário e a regulamentação da venda de misturas mais ricas em teor de biocombustível até 20% (v/v), visa impulsionar o desenvolvimento da fileira dos biocombustíveis em Portugal e o cumprimento das metas de introdução deste tipo de combustíveis no consumo nacional [10].

## **1.2. Objetivos**

O objetivo principal desta dissertação passa primeiramente por estimar quantidade de detritos dos gatos domésticos das localidades de Vila Nova de Gaia e Santa Maria de Feira, contextualizar na problemática da gestão dos resíduos biodegradáveis e avaliar o potencial bioenergético destes resíduos por tratamento mecânico e biológico.

Os gatos são produtores de uma fração de resíduos urbanos biodegradáveis (areia reutilizada dos caixotes), que são tratados na empresa de gestão dos resíduos *Suldouro*. A análise da “psicologia dos donos amigos e amigas dos animais de quatro patas” pode ser aproveitada para o projeto piloto “*Animais domésticos: juntos somos amigos do ambiente*” (Figura 2), que poderá contribuir para a resolução do complexo problema de reciclagem da matéria orgânica, contendo areia dos caixotes dos gatos.



Figura 2 – Amigos do ambiente. [11] [www.fotosdeanimais.org](http://www.fotosdeanimais.org)

### 1.3. Organização do relatório

Esta dissertação apresenta 5 capítulos, sendo o presente capítulo o introdutório. Neste capítulo encontra-se ainda a contextualização e os objetivos desta dissertação.

O capítulo 2 apresenta o contributo dos resíduos para o uso sustentável dos recursos da UE e Portugal, a evolução da política portuguesa de resíduos urbanos, mapa de registo de resíduos urbanos, a caracterização de resíduos, tipos de tratamento de resíduos urbanos. É ainda feita uma abordagem às questões relevantes para o bom entendimento do capítulo 3.

No capítulo 3 faz-se a apresentação da empresa, apresentação das metas de PERSU 2020 específicas para o sistema de gestão de resíduos urbanos de instalação estratégicas para a *Suldouro*, o funcionamento da Central de Valorização Orgânica da *Suldouro*, a sua missão e projetos realizados pela empresa.

No capítulo 4 avalia-se o desempenho do sistema de tratamento de resíduos da *Suldouro* e suas condicionantes, apresenta-se o estudo da quantidade de animais de estimação em Portugal e em particular dos municípios de Vila Nova de Gaia e de Santa Maria de Feira. Neste capítulo faz-se ainda a descrição do trabalho experimental que inclui a caracterização dos resíduos a usar no estudo e o estudo realizado no laboratório.

No último capítulo, o 5º, são reunidas todas as principais conclusões retiradas com a realização deste trabalho e perspetivados futuros desenvolvimentos.



## 2. Estado de arte

Neste capítulo apresenta-se o contributo dos resíduos para o uso sustentável dos recursos da UE e Portugal, bem como a evolução da política nacional de resíduos urbanos.

### **2.1. Contributo dos resíduos para o uso sustentável dos recursos da UE e Portugal**

A criação das cidades e a crescente ampliação das áreas urbanas têm contribuído para o crescimento de impactos ambientais negativos. A produção de resíduos é uma consequência do uso de recursos nas atividades socioeconómicas que caracterizam o nosso quotidiano. Os resíduos têm origem nas várias fases do metabolismo socioeconómico, desde o momento que os recursos são extraídos da natureza até ao momento em que os materiais e produtos em que se transformam deixam de ter utilidade para o seu consumidor.

No contexto destas políticas, os resíduos têm vindo progressivamente a merecer especial atenção, sendo, em conjunto com os recursos naturais, uma das 4 áreas prioritárias da UE, a par das alterações climáticas, natureza e biodiversidade e saúde e qualidade de vida (Decisão n.º 1600/2002/CE). O Programa de Ação em Matéria de Ambiente (PAA) tem a sua origem no Conselho Europeu realizado em 1972, em Paris, no qual os Chefes de Estado e de Governo europeus (na sequência da primeira conferência das Nações Unidas

sobre o ambiente) declararam a necessidade de uma política ambiental comunitária que acompanhasse a expansão económica, instando a um programa de ação. O Ato Único Europeu de 1987 introduziu um novo título «Ambiente», que constituiu a primeira base jurídica da política ambiental comum, com vista a preservar a qualidade do ambiente, proteger a saúde humana e assegurar uma utilização racional dos recursos naturais. Desde 1973, a Comissão tem criado PAA plurianuais, que apresentam propostas legislativas e objetivos futuros da política ambiental na UE. Em 2013, o Conselho e o Parlamento aprovaram o 7.º PAA para o período até 2020, intitulado «Viver bem, dentro dos limites do nosso planeta». Com base numa série de iniciativas estratégicas recentes (Roteiro para uma utilização eficiente dos recursos, Estratégia de biodiversidade para 2020 e Roteiro para a transição para uma economia de baixo carbono em 2050), o 7.º PAA define nove objetivos prioritários, entre os quais se destacam: a proteção da natureza; uma maior resiliência ecológica; um crescimento sustentável, eficiente em termos de recursos e baixo carbono; e a luta contra as ameaças ambientais à saúde. O programa sublinha igualmente a necessidade de uma melhor aplicação da legislação ambiental da UE, de conhecimentos científicos mais atuais, de investimentos e da integração de aspetos ambientais nas demais políticas [12].

A política de resíduos que se iniciou nos processos, essencialmente de fim de linha, fez com que se alargassem as fronteiras, passando a considerar os produtos resultantes desses processos para, mais recentemente, considerar todo o sistema envolvido.

## **2.2. A evolução da política nacional de resíduos urbanos**

Em enquadramento legislativo de acordo com o artigo 3º do Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de setembro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei nº73/2011, de 17 de junho, resíduo urbano (RU) é “*o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações*” [13].

Na década de 90, os resíduos urbanos foram considerados como uma prioridade da política de ambiente nacional, por força dos problemas ambientais originados pela gestão não adequada destes resíduos, e pela constatação do atraso existente nos sistemas de gestão de resíduos em relação à maior parte dos Estados-membros da UE. Nesse sentido, em 1996 foi aprovado o primeiro plano nacional para o setor dos resíduos urbanos, o Plano Estratégico para a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU). O PERSU tinha como

horizonte temporal o período 1997-2007 e determinou a organização, regulamentação e infraestruturização do setor dos resíduos urbanos em Portugal, permitindo nomeadamente:

- O encerramento das lixeiras (destino de 73% dos resíduos produzidos até 1995);
- A criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de RU (sistemas plurimunicipais);
- A construção de novas infraestruturas de valorização e eliminação;
- A criação de sistemas de recolha seletiva multimaterial;
- A definição das linhas de orientação geral para a criação de sistemas de gestão de fluxos específicos de resíduos.

Com o lançamento do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), em 1997, Portugal prometeu erradicar todas as lixeiras existentes e construir uma rede de aterros em todo o país até ao final do ano 2000. Em nenhum outro país houve uma evolução tão rápida como a que se deu em Portugal *“Deixámos de ser um país de lixeiras. Em apenas cinco anos passámos de 26 por cento de tratamento adequado dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para 100 por cento e, pela primeira vez, atingimos um indicador ambiental próprio de um país do Primeiro Mundo”*, afirmava o então Ministro do Ambiente, José Sócrates. Para o governante, o sucesso assentou em três premissas: *“Uma política de tratamento de resíduos clara, um esforço de cooperação com as câmaras que permitiu a construção de infraestruturas a uma escala supramunicipal e uma política sem cedências e sem recuos face a populismos locais”* [14].

Em 2006, o Plano Estratégico para a Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos foi revisto, tendo surgido um novo referencial do setor dos Resíduos Urbanos, o PERSU II, para o horizonte temporal de 2007-2016. O PERSU II (aprovado em 2003) veio também rever a Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros (ENRRUBDA). O PERSU II estabeleceu o aumento do número de unidades de TMB (Tratamento Mecânico Biológico) destinadas à valorização orgânica e reciclagem de RU e melhoria da rede de recolha seletiva, nomeadamente de ecopontos, ecocentros e circuitos de recolha porta-a-porta. Em 2012, 53,7% dos RU produzidos em Portugal continental foram encaminhados para aterro. Os restantes RU tiveram como destino a valorização energética (18,2%), a recolha seletiva com vista à reciclagem (12,4%) e a valorização orgânica (15,7%). O maior aumento, relativamente a 2011, deu-se na

valorização orgânica. Esta tendência manter-se-á com a entrada em funcionamento de novas instalações de tratamento mecânico-biológico.

O PERSU II, publicado pela Portaria nº 187/2007, de 12 de fevereiro, tem um objetivo ambicioso pelo que a estratégia utilizada no presente Plano implicará um investimento e um esforço de todos os agentes envolvidos, designadamente ao nível da implementação de melhores práticas de gestão de RSU, entendido como indispensável para atingir desafios como os *da prevenção da produção, da maximização da reciclagem e da minimização da deposição em aterro*.

Estes objetivos foram materializados em cinco eixos de atuação que consubstanciaram a estratégia do plano, sendo estabelecidos por forma a garantir o cumprimento dos compromissos nacionais e europeus em matéria de gestão de resíduos [15].

- **Eixo IV**- Programa Nacional de Prevenção;
- **Eixo II** - Sensibilização/Mobilização dos Cidadãos;
- **Eixo III** - Qualificação e Otimização da Gestão de Resíduos;
- **Eixo IV** - Sistemas de Informação como Pilar da Gestão dos Resíduos Urbanos;
- **Eixo V**-Qualificação e Otimização da Intervenção das Entidades Públicas no Âmbito da Gestão de Resíduos Urbanos.

Na extensão do objetivo de eliminação da deposição total de resíduos sólidos biodegradáveis (RUB) em aterro em 2016, está associada a necessidade de ampliar a capacidade de TMB, em unidades existentes e em novas unidades a construir.

As orientações estratégicas do PERSU II estão em linha com o Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE) [12], aprovado em 2006 para fazer face ao atraso no cumprimento das metas europeias de reciclagem e valorização. O PERSU II veio também rever a ENRRUBDA, publicada em 2003 para dar cumprimento às obrigações de desvio de aterro previstas na Diretiva “Aterros”.

Na extensão do objetivo de eliminação da deposição total de RUB em 2016 está associada a necessidade de ampliar a capacidade de TMB, em unidades existentes e em novas unidades a construir que ajudam a eliminar a quantidade total de RUB produzida os no ano de 1995.

O PERSU II estabeleceu as seguintes linhas orientadoras estratégicas para a gestão de resíduos urbanos:

- Reduzir, reutilizar, reciclar;
- Separar na origem;
- Minimizar a deposição em aterro;
- A valorização energética da fração não reciclável;
- O “Protocolo de Quioto” como compromisso determinante na política de resíduos;
- Informação validada a tempo de se poderem tomar decisões;
- A sustentabilidade dos sistemas de gestão de RU.

Relativamente a outros fluxos específicos, como é o caso de pilhas, óleos alimentares e Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos (REEE), os seus quantitativos não foram contabilizados nos objetivos nacionais por serem alvo de gestão de entidades gestoras com sistemas específicos, não se encontravam no âmbito do PERSU II.

A adicionar aos desvios existentes face ao cumprimento das metas estabelecidas no PERSU II, o plano carecia de reformulação pela necessidade de adaptar a estratégia de gestão de resíduos à reorganização dos sistemas de gestão existentes e da necessidade de garantir o escoamento de recicláveis e outros materiais provenientes do tratamento de resíduos urbanos, como o composto e Combustível Derivado de Resíduos (CDR), de apropriar os esforços a novas metas comunitárias de preparação para a reutilização e reciclagem (2020), da calendarização das metas para deposição de RUB em aterro. Devido ao distanciamento verificado, a Comissão Europeia concedeu uma derrogação de 4 anos para as metas relativas a 2009 e 2016, estendendo-as para 2013 e 2020, respetivamente e, ainda ao desenvolvimento do novo quadro financeiro plurianual da EU para 2014-2020.

Atualmente vive-se um novo desafio lançado pelo PERSU 2020, aprovado pela Portaria nº 187 A/ 2014, de 17 de setembro. Este plano define as metas e objetivos para o desenvolvimento de um conjunto de projetos e ações que obrigarão as entidades gestoras a um incremento da complexidade das soluções de gestão de resíduos a desenvolver. O PERSU 2020 vem assim definir, entre outros aspetos, objetivos de cumprimento de metas comunitárias a serem cumpridas por cada entidade gestora, nomeadamente, metas de Preparação para a Reutilização e Reciclagem, metas de Deposição de RUB em aterro e metas de Retoma de Recolha Seletiva [16].

Estão assim lançados os objetivos e metas a alcançar até 2020, que servirão de alavanca para uma gestão de resíduos suportada nas melhores tecnologias disponíveis com vista à Preparação para a Reutilização e Reciclagem, à Valorização Orgânica e Material dos resíduos urbanos. PERSU 2020 apresenta oito objetivos como princípios gerais para gestão de resíduos no período de vigência do plano. Quatro dos objetivos estão associados às Diretivas Europeias, e concretizam-se nas metas nacionais a atingir até 2020 a seguir elencadas que estão bem esclarecidos na Tabela 1.

- Prevenção da produção e perigosidade dos RU;
- Aumento da preparação para reutilização e reciclagem e da quantidade dos recicláveis;
- Redução da deposição de RU em aterro;
- Valorização económica e escoamento dos recicláveis e outros materiais do tratamento dos RU.

**Tabela 1-Metas Referência Nacional do PERSU 2020 [16]**

<b>Parâmetro</b>	<b>Meta</b>	<b>Prazo</b>
Redução da produção de resíduos em peso face a 2012	7,6%	31 de dezembro 2016
	10%	31 de dezembro 2020
Desvio de RUB de aterro	35%	Junho de 2020
Taxa de preparação para reutilização de reciclagem	50%	31 de dezembro de 2020
Reciclagem de resíduos de embalagem	70%	31 de dezembro 2020
Retomas de materiais com origem em recolha seletiva	47kg/hab.ano	31 de dezembro 2020

*\*Nota: As metas são determinadas em função do peso dos resíduos; a- face à quantidade em aterro 1995.*

O PERSU 2020 adotou estas metas, concretizando em termos absolutas a meta da reciclagem para 47 kg/hab.ano, com origem em matérias da recolha seletiva, sem, contudo, distinguir entre embalagem e não embalagem. Olhando mais longe, o PERSU2020 fixa metas individuais para cada Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU), balizada pelos limites identificados. Os próximos quatro objetivos são transversais à atividade de gestão de resíduos e visam dar suporte à concretização das metas temporais estabelecidas, tendo como ponto de partida o modelo de intervenção já implantado:

- Reforço dos instrumentos económico-financeiros;

- Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do sector;
- Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do sector;
- Aumento do contributo do setor para outras estratégias e planos nacionais.

Estes objetivos visam assim procurar assegurar a sustentabilidade dos sistemas de gestão de resíduos, capacitar os partes interessadas envolvidas, contribuir para um crescimento da economia verde e envolver a gestão de resíduos em áreas revelantes como as energias renováveis. Os valores das Metas Nacionais estabelecidas no PERSU 2020 estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2- Metas Nacionais do PERSU 2020 [16]**

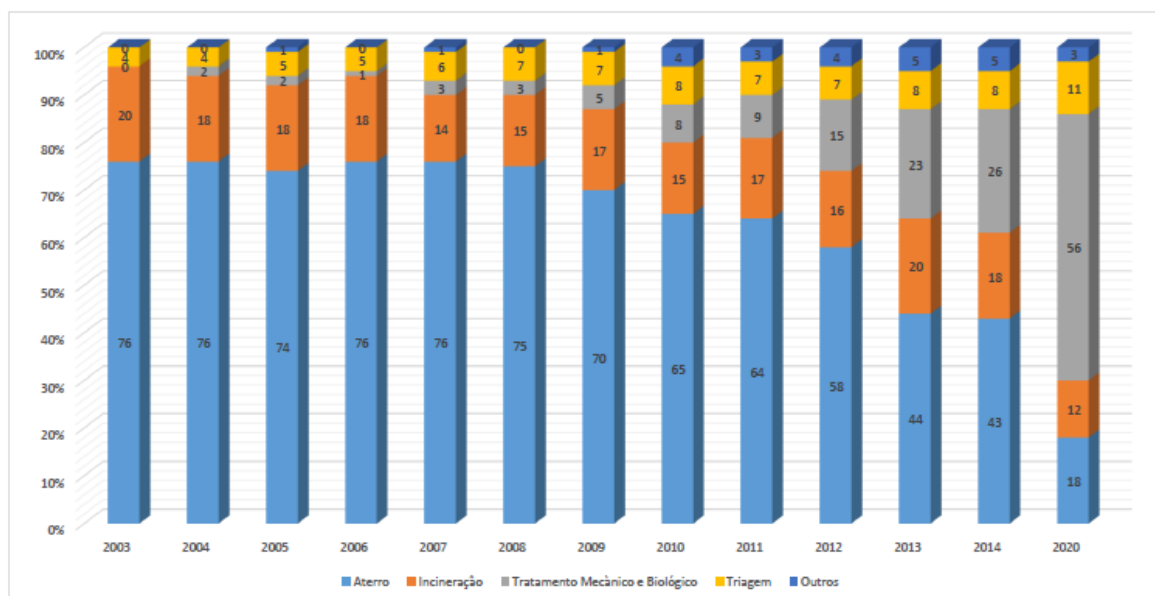
Designação	Meta	Mínimo	Máximo
Preparação para a Reutilização e Reciclagem	53%	35%	80%
Reciclagem de Resíduos de Embalagem	47 kg/hab.ano	27 kg/hab.ano	71 kg/hab.ano
Deposição de RUB em aterro	26%	10%	50%

As principais metas e objetivos de PERSU II foram a maior aposta em solução de tratamento que compram a hierarquia de gestão de resíduos promovendo o desvio de RUB de aterro e a reciclagem de resíduos de embalagem. Neste descritivo inserem-se as unidades de tratamento mecânico e biológico (TMB) de resíduos urbanos e as unidades de triagem automatizada de resíduos de embalagem, ambas em detrimento das soluções de eliminação. Os resultados do total de investimento realizado nos últimos 5 anos são visíveis na evolução apresentada na Figura 3, nomeadamente através do aumento de soluções de valorização de resíduos nos últimos 5 anos, em detrimento das soluções de eliminação. Apresenta-se igualmente a perspetiva para o ano 2020.

De acordo com o Regime Geral da Gestão de Resíduos, se um resíduo for para aterro paga uma taxa de gestão de resíduos na ordem dos 5,00 €/tonelada, a qual deverá evoluir até 11,00 €/tonelada em 2020. Por estes motivos existe uma acentuada necessidade de reduzir a quantidade de RUB depositados em aterro, aumentar a reciclagem dos resíduos de embalagem e melhorar os incrementos na eficiência de valorização de material.

De modo a que tal seja possível, e uma vez que não existe uma única solução para responder a todas as variedades do sistema de gestão, o plano opta por tecnologias que sirvam o propósito de responder às metas existentes sem comprometer as

responsabilidades económicas e ambientais dos sistemas de gestão de resíduos. Com este propósito, neste documento estratégico existe a definição de metas e objetivos a atingir sem a restrição das soluções técnicas.



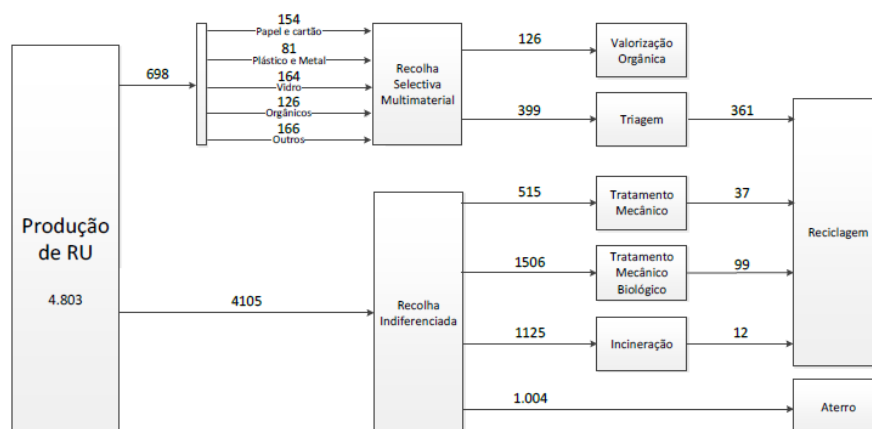
**Figura 3 – Destino dos RU do grupo EGF desde 2003 e perspetiva para 2020 [17].**

O aumento da recolha seletiva é um dos objetivos estratégicos do presente Plano Nacional. Entende-se que a melhor forma de promover o fecho do ciclo de materiais e garantir a qualidade dos materiais recicláveis é através da atuação a montante, ou seja, através da recolha seletiva.

Dos fluxos de materiais nos sistemas de gestão de RU em Portugal, no Cenário BAU (Business As Usual) em 2020. Destaca-se a aposta significativa no tratamento mecânico e mecânico-biológico, representando mais de 2 milhões de toneladas por ano e contribuindo para uma diminuição da deposição direta em aterro para menos de 20% do total de RU produzidos. A recolha seletiva de papel e cartão, plástico e metal e vidro mantém-se praticamente constante em relação a 2012. Há ainda um aumento no desvio de refugos e rejeitados dos aterros, cerca de 300 mil toneladas por ano, através da produção de Combustíveis Derivados de Resíduos (CDR). Os aumentos de valorização orgânica de RUB com origem em recolha seletiva e da valorização energética estão associados a utilizações mais eficientes dos equipamentos Figura 4.

A análise dos fluxos de cada sistema permite avaliar o cumprimento dos objetivos e o contributo de cada sistema. No entanto, seguindo a trajetória do cenário *Business a usual*

(BAU), as metas nacionais de desvio de RUB de aterro, de preparação para reutilização e reciclagem e de reciclagem de embalagens não são alcançadas.



**Figura 4 – Principais fluxos de resíduos (milhares de toneladas) nos sistemas de gestão de RU em Portugal Continental e Regias Autónomas de Açores e Madeira (RAAM) em 2020 [16].**

Por forma a garantir que todos os sistemas contribuam de forma equitativa para os objetivos estratégicos, tendo também em conta a sua infraestrutura atual, estabeleceram-se mínimos e máximos para os objetivos exigidos aos sistemas, os quais foram comparados com os valores inerentes ao cenário de BAU. Definem-se assim os seguintes limites para as metas nacionais PERSU 2020, que estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3- Avaliação do cumprimento de metas nacionais no cenário BAU 2020 [16].**

<b>Parâmetros</b>	<b>Cenário BAU</b>	<b>Meta para 2020</b>
Preparação para reutilização e reciclagem (%)	44	50
Desvio de RUB em aterro (%)	35	35
Retomas de matérias com origem em recolha seletiva (kg/hab.ano)	30	47

Um aspeto importante na definição de ações para cumprimento de metas e objetivos é a sua monitorização periódica, para verificação do desfasamento, quer seja positivo ou negativo, e para tomada de decisões em conformidade.

O desenvolvimento de estudos centralizados entre SGRU, possibilita a otimização nos processos unitários desenvolvidos em cada instalação, nomeadamente com vista a:

- Melhoria dos sistemas de recolha seletiva e transporte de resíduos, minimizando custo e aumentando as quantidades em cada circuito;
- Otimização da exploração das centrais de TMB, para recuperação de matérias com qualidade e para obtenção de um composto de qualidade;
- Otimização da exploração das centrais de triagem para recuperação de materiais com qualidade;
- Otimização da produção dos combustíveis derivado de resíduos.

### **2.3. Mapa de Registo de Resíduos Urbanos (MRRU)**

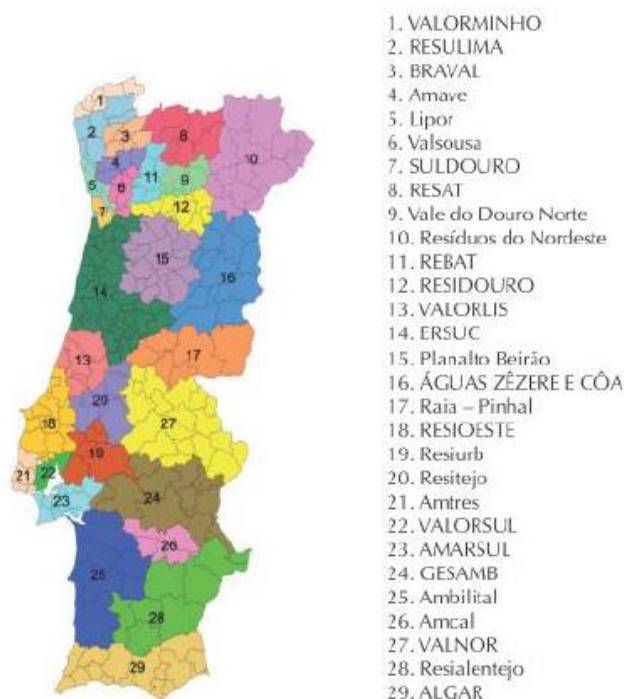
O MRRU resulta da obrigatoriedade de registo preconizada no Art.º 48º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro, alterado e republicado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho, que no artigo 3º, aloca em si a *“recolha, transporte, a valorização e a eliminação de resíduos, incluindo a supervisão destas operações, a manutenção dos locais de eliminação no pós-encerramento, bem como as medidas adotadas na qualidade de comerciante ou corretor”* O preenchimento do MRRU é efetuado pelos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos, através da plataforma de Sistema Integrado de Registo Agência Portuguesa do Ambiente (SIRAPA)

Ao nível da Organização (Sistema), é feito o registo de todos os Estabelecimentos (infraestruturas) que explora, de acordo com os Perfis disponíveis: Aterro, Central de Valorização Energética, Central de Valorização Orgânica, Unidade de Triagem e Unidade de Tratamento Mecânico. Assim, são libertados os formulários respetivos, permitindo também a outras entidades a seleção desses estabelecimentos como destino de resíduos [18].

Existem 23 Sistemas de Gestão de RU que cobrem a totalidade do território da Portugal Continental, sendo 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais (Figura 5). Cada um destes Sistemas possui infraestruturas para assegurar um destino final adequado para os RSU produzidos na área respetiva. Nos sistemas intermunicipais, os municípios detêm sempre a maioria do capital, por força da lei das empresas municipais. Por outro lado, os sistemas multimunicipais eram inicialmente explorados por empresas públicas controlados pela a empresa de gestão de resíduos (EGF) [19].

A EGF que, em 2015, passou das mãos do grupo Águas de Portugal para o consórcio Suma, liderado pela MotaEngil, verificou uma alteração da natureza jurídica dos sistemas

multimunicipais, que passaram a ser detidos maioritariamente por capitais privados, de acordo com o Decreto-Lei nº 96/2014, de 25 de junho. Os sistemas de gestão de resíduos pretendem assegurar o desenvolvimento de soluções integradas que envolvam vários municípios. Desta forma será possível construir soluções de gestão de resíduos que normalmente excediam as capacidades técnicas, financeiras e de gestão do município.



**Figura 5 – Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos em Portugal Continental [20]**

## 2.4. Caracterização de resíduos

Portugal registou no ano 2014 uma população de 10.431.030 habitantes [21]. Nesta dissertação vai-se analisar os dados sobre os resíduos urbanos relativos a Portugal Continental.

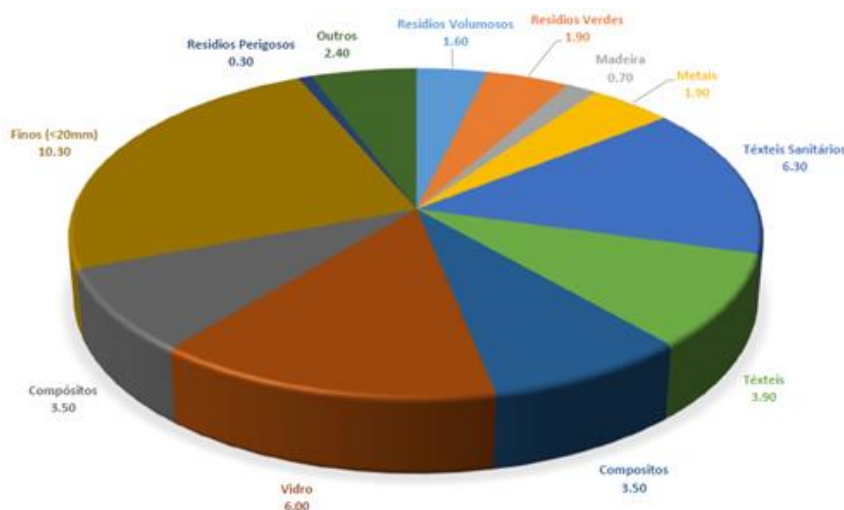
No ano de 2014, de acordo com os dados mais recentes disponibilizados, os SGRU geriram cerca de 4.474 milhões de toneladas, o que corresponde a um aumento de 2,5% em relação a 2013. Este aumento poderá estar relacionado com uma melhoria da situação económica de Portugal, o que parece indicar não estar a ser cumprido o objetivo de dissociar a produção de resíduos do crescimento económico. Por outro lado, constata-se também que as medidas de prevenção da produção de resíduos não estão a ter os resultados esperados. Para 2014, em Portugal Continental, apurou-se uma capitação de 452 kg/hab.ano, abaixo

da média Europeia (481 kg/hab.ano, 28 países, dados de 2013). Incluindo os quantitativos das Regiões Autónomas este valor subiria para 454 kg/hab.ano. A Tabela 4 apresenta a produção anual de resíduos urbanos para ano de 2014 [22]. Como era esperado, a comparação do peso de cada uma das categorias entre 2011 e 2014 revela um padrão consistente de composição dos RU que resulta provavelmente de hábitos de consumo semelhantes neste período. são apresentados os resultados da caracterização física média dos RU produzidos no Continente.

**Tabela 4- Quantitativos de RU produzidos (10<sup>3</sup> t). [22]**

Região	2011	2012	2013	2014
<b>Portugal Continental</b>	4.888	4.525	4.363	4.474
<b>Região Autónoma da Madeira</b>	124	114	106	110
<b>Região Autónoma da Açores</b>	147	143	139	136
<b>Total</b>	5.159	4.782	4.608	4.720
<b>Variação*</b>	-6%	-7%	-4%	2%

\* Nota: A Variação é calculada face ao ano anterior



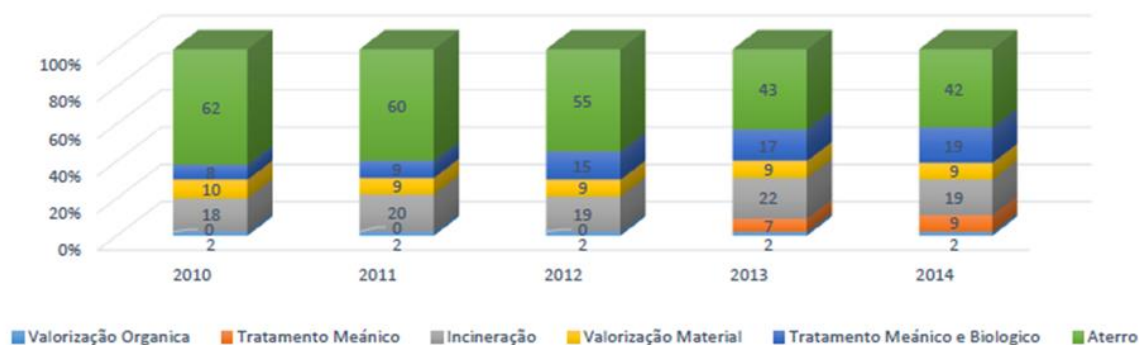
\*Nota: todos os valores estão em percentagem

**Figura 6 – Caracterização física média dos RU produzidos**

Do total de RU produzidos, cerca de 53,3% corresponde a RUB, valor ligeiramente inferior ao assumido para efeitos de cálculo no PERSU 2020 - 55%. Destes resultados, destaca-se ainda a elevada fração de resíduos recicláveis que constituem os RU (cerca de 73%), e que na sua maioria podem ser objeto de valorização, justificando o investimento em medidas

efetivas tendentes à sua recuperação. Uma enorme variedade de materiais e objetos, que aparentam, à partida, não ter utilidade; mas os resíduos, na sua maioria, quando encaminhados para destinos que viabilizam o seu aproveitamento, são reutilizados ou valorizados por reciclagem, compostagem ou aproveitamento energético. A necessidade de minimizar a produção de resíduos e de assegurar a sua gestão sustentável constitui o objetivo prioritário da atual política de gestão de resíduos, a qual se encontra consubstanciada de acordo com a Diretiva “Aterros”. O aumento da qualidade e quantidade dos resíduos recicláveis recolhidos seletivamente é um objetivo da política de resíduos evidenciado no PERSU 2020 pela definição de uma meta específica para retomas de recolha seletiva embora com incidência apenas sobre alguns materiais (papel, cartão, vidro, metal e plástico) [22].

Na Figura 7 apresenta-se a distribuição relativa dos destinos (diretos) dos RU entre 2010 e 2014 em Portugal Continental.



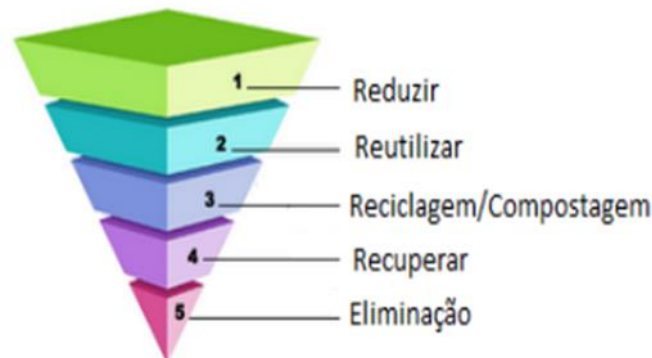
**Figura 7 – Destino direto dos RU em Portugal [22]**

A análise do gráfico demonstra que em 2014, e tal como em 2013, a maioria dos resíduos não foi encaminhada diretamente para aterro.

No sentido do cumprimento da hierarquia dos resíduos, que está apresentada na Figura 8, embora os dados apontem para uma evolução positiva há a destacar a estabilização da fração recolhida seletivamente para valorização material face ao total de resíduos, tendência contrária à estratégia comunitária e nacional para os RU. A conclusão fundamental é que os esforços e investimentos que têm vindo a ser feitos no sentido do aumento da deposição seletiva, embora sejam identificadas pelos SGRU razões que justificam este decréscimo, não têm tido os devidos reflexos nos comportamentos da população. Há que fazer uma análise das possíveis alternativas disponíveis para combater e

inverter esta situação e iniciar a sua implementação de forma a ser possível atingir os valores definidos para 2020, tendo em conta as metas ambiciosas definidas, designadamente de preparação para reutilização e reciclagem e retomas de recolha seletiva.

Embora se identifique, comparativamente a anos anteriores, a alteração desta tendência a favor, principalmente dos TMB e TM, conforme o previsto na estratégia nacional, a maioria dos SGRU mantém o aterro como destino preferencial. Embora o “destino direto dos resíduos” seja um indicador bastante relevante, não reflete o destino final efetivo dos mesmos. Assim, calculando a fração total de resíduos depositados em aterro, por via direta e indireta, entendendo-se esta última como os refugos e rejeitados dos processos de tratamento, verifica-se que foram enviados para aterro cerca de 58% dos resíduos produzidos em 2014, valor próximo de 2013 em 60%. Não obstante, encontra-se ainda consideravelmente acima dos 42% calculados como destino direto, o que indica que a percentagem de refugos e/ou rejeitados dos tratamentos que não é valorizada é significativa. Em 2014, apenas 9 dos 23 SGRU depositaram em aterro menos de 80% dos RU produzidos (3 dos quais utilizam a incineração como destino direto) [23].



**Figura 8 – Hierarquia da gestão de resíduos [24]**

A opção feita por Portugal relativamente aos processos de tratamento de RU, designadamente tratamentos mecânicos e biológicos, assenta no reconhecimento que os mesmos apresentam um grande potencial em termos de:

- Redução da deposição de RUB em aterro;
- Aumento significativo das taxas de reciclagem; e
- Importante redução das emissões de gases de efeito de estufa, fundamentais para a prossecução das metas nacionais e comunitárias.

De salientar que o resultado obtido para a meta de Desvio de RUB de aterro apresenta valores distintos em dois documentos diferentes, o Relatório Anual de Resíduos de 2014 em que a meta se situa nos 52% e o Relatório do Estado de Ambiente 2015 cuja meta atinge os 53%. Por outro lado, não é apresentado, em nenhum dos relatórios, posicionamento do país face ao cumprimento da meta de retomas de matérias com origem em recolha seletiva. Os valores na Tabela 5 estão presentes no Relatório do Estado do Ambiente e referem-se não às retomas, mas à quantidade de material recolhido seletivamente.

**Tabela 5- Desempenho de Portugal face às metas preconizadas pelo PERSU 2020 [rel. Estado Ambiente 2015]**

Parâmetro	Resultado em 2014	Meta
Redução da produção de resíduos face 2012	1.3%*	7.6% a 31/12/2016
		10% a 31/12/2020
Desvio de RUB de aterro	52%/53%*.a	35% em julho de 2020
Taxa de preparação para reutilização e reciclagem	29%*	50%
Retomas de materiais com origem em recolha seletiva	62 g/hab·ano	47 g/hab·ano

*\*Nota: As metas são determinadas em função do peso do resíduos; <sup>a</sup> face à quantidade depositada em aterro em 1995.*

## 2.5. Tipos de tratamento de resíduos urbanos

A crescente industrialização e modernização da economia provocou alterações significativas com reflexos na concentração populacional junto dos grandes centros urbanos e na alteração das condições de vida. Isto levou ao consumo massivo de bens e serviços e a um aumento importante da produção de resíduos na forma de fluxos de matérias ou de energia.

O descarte dos resíduos tem se tornado um problema mundial quanto ao prejuízo e poluição do meio ambiente, caso estes sejam descartados sem nenhum tratamento, onde se pode afetar tanto o solo, a água e/ou o ar. A poluição do solo pode alterar suas características físico-químicas, o que representa uma séria ameaça à saúde pública tornando-se o ambiente propício ao desenvolvimento de transmissores de doenças. A poluição da água pode alterar as características do ambiente aquático, através da percolação do líquido gerado pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo, associado com as águas pluviais e nascentes existentes nos locais de descarga dos resíduos. Enquanto que a poluição do ar pode provocar a formação de gases naturais na massa de

lixo, pela decomposição dos resíduos com e sem a presença de oxigênio no meio, originando riscos de migração de gás, explosões e até de doenças respiratórias, se em contato direto com os mesmos.

Em Portugal, até à década de 90, os resíduos sólidos urbanos produzidos eram encaminhados para lixeiras a céu aberto, depositados sobre solo não protegido onde iam sendo queimados para redução do seu volume sem qualquer controle ambiental e de saúde pública deste tipo de solução. O único material a ser recolhido seletivamente a nível camarário correspondia às embalagens de vidro, mas nem todo o território se encontrava abrangido por estes dispositivos de deposição, recolha, transporte e encaminhamento final.

É no decorrer de 1996 que se iniciam os trabalhos do *Grupo de Tarefa* responsável pela elaboração do PERSU, previsto no Decreto-Lei n.º 310/95, de 20 de novembro e que viria a ser aprovado a 13 de novembro de 1997. Este plano insere-se na doutrina da *Diretiva Quadro de Resíduos* (Diretiva 75/442/CEE, de 15 de julho), na qual é exigida a atenção para algumas questões chaves:

- proibição de deposição de resíduos em lixeiras;
- caracterização dos resíduos produzidos;
- gestão de resíduos de acordo com as condicionantes geográficas;
- garantia de uma rede de destinos finais adequados.

O principal objetivo da diretiva está focalizado na eliminação dos problemas associados de deposição na qualidade da água em global, superficial e subterrânea, do solo, do ar e da saúde humana. Estabeleceu-se um plano de ação que promove a separação de fração orgânica dos resíduos urbanos na fonte para produção de composto, valorização energética dos resíduos e ainda um TMB produzindo biogás e composto para ser utilizado no solo, e secagem dos resíduos com vista à produção de combustíveis derivados de resíduo e vermicompostagem. O Tratamento de Resíduos Sólidos consiste no uso de tecnologias apropriadas a fim de diminuir as desvantagens da existência de resíduos ou até mesmo de transformá-los num fator de geração de retorno como a produção de matéria prima secundária [25].

### **2.5.1. Tratamento Mecânico-Biológico**

O Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) é uma tecnologia que tem atraído bastante interesse nos últimos anos, uma vez que pode reduzir a dependência do uso do aterro e ao

mesmo tempo evitar a necessidade de incineração. São processos bastante utilizados em Portugal, sofrendo importante evolução, desenvolvimento e aperfeiçoamento na última década. Esta tecnologia tem como objetivo o tratamento que consiste no processamento de resíduos indiferenciados, utilizando uma combinação de processos mecânicos e biológicos.

O processo divide-se em duas fases; a fase mecânica (tratamento seco) onde ocorre a separação dos resíduos e remoção de algumas frações, a preparação inicial do tratamento consiste, usualmente, na remoção de objetos grandes de dimensões como no caso de colchões, carpetes, equipamentos domésticos, equipamentos de automóveis que implicam problemas de funcionamento nas etapas seguintes do processo mecânico; a fase biológica (tratamento húmido) onde ocorre a estabilização da fração orgânica de modo a tornar as suas características razoáveis para a utilização. Esta estabilização pode ser através de processos aeróbios ou anaeróbios onde convertem a fração de resíduos biodegradáveis em composto (Digestão Aeróbia) ou em Biogás (Digestão Anaeróbia).

O principal objetivo destes tratamentos é que os refulos encaminhados para o aterro sanitário sejam minimizados, e possuam características menos desfavoráveis para o ambiente, reduzindo o lixiviado e as emissões de gás e prolongando a vida útil do aterro sanitário [26].

### **2.5.1.1. Tratamento Mecânico**

- **Triagem manual**

Os resíduos urbanos que estão no início do tratamento mecânico na primeira fase de tratamento contactam diretamente com os colaboradores na triagem manual (**Figura 9**) que separam a fração inorgânica e volumosa para obtenção da fração orgânica. Nesta fase primária é necessário dar especial atenção ao conforto dos colaboradores, nomeadamente o posicionamento dos contentores dos materiais separados, velocidade do tapete de transporte, iluminação, ventilação e qualidade de ar no local de trabalho, uso de óculos, luvas e máscara protetora. Uma parte de vestuário adequado e importante na proteção do colaborador é o calçado de proteção. As principais fontes de acidentes no local de trabalho são materiais volumosos, vidros e descontração dos colaboradores. Nas linhas mais modernas a separação é automática, o que ajuda a aumentar a eficiência na produção e melhorar condições do trabalho. Estes equipamentos vão ser referidos mais abaixo.



**Figura 9 – Imagem da triagem**

- **Abre-sacos**

Depois de passarem pela cabine de pré-triagem, os materiais são encaminhados a um *Abre-sacos* (**Figura 10**), onde os sacos fechados são rasgados com lâminas do tambor do crivo rotativo, que para além de romper também doseiam o material.



**Figura 10 – Imagem do Abre-sacos**

- **Separadores Granulométricos (Crivo ou Trommel)**

A separação granulométrica forçada por crivagem é utilizada na separação de uma mistura de resíduos em duas ou mais frações. Os equipamentos mais utilizados são o crivo vibratório e o crivo de tambor rotativo. É constituído por placas perfuradas ou por barras dispostas em intervalos regulares, e geralmente está montado e inclinado sobre o sistema de vibração em uma ou duas dimensões. O *Trommel* (**Figura 11**) é um tambor rotativo com malhas perfuradas, com uma ou mais dimensões, ligeiramente inclinado, o que permite separar elementos de diferentes granulometrias: fração fina <25mm; fração média de 25 a

60 mm; fração grossa de 60 a 180 mm. Na rotação do *Trommel* os resíduos urbanos descem ao longo do comprimento embatendo varias vezes nas paredes e passando através das diferentes secções de orifícios se a sua dimensão for inferior á daqueles, enquanto o material de dimensão superior ao das malhas existentes atravessa todo o comprimento do *Trommel* e sai pela boca final. Alguns *Trommel* incorporam lâminas ou dentes (estrelas) no primeiro terço do comprimento para abertura dos sacos. Como desvantagem deste sistema há o risco de aumentar a fragmentação do vidro e contaminar os outros materiais. Como o resíduo urbano que entra no processo é na maior parte matéria orgânica, um fluxo de fermentação traz o aumento de humidade e temperatura, que pode conduzir á colmatação dos orifícios, provocando variações de débito desfavoráveis ao rendimento, entupindo malhas perfuradas.



**Figura 11 – Imagem do Trommel**

- **Separadores Densimétricos (Separador Balístico)**

O Separador Densimétrico (Figura 12) também separa em três frações (materiais rolantes, planos e finos). O equipamento está inclinado com as chapas perfuradas e paralelas um ás outras. O seu principio de funcionamento assenta na aceleração das matérias à entrada no equipamento, que os projeta com velocidades e trajetórias diferentes em função do peso e forma. A fração fina (matéria orgânica) cai pelo orifício da chapa, a fração rolante (embalagens, plásticos e outros) é conduzido para parte inferior por efeito da gravidade e passa na reciclagem com o separado ótico; deste tratamento falar-se-à a seguir. Por fim os materiais pesados deslocam-se para a parte superior do equipamento devido ao movimento das placas. Com a utilização de um fluxo de ar também é possível realizar uma separação densimétrica que permite a separação de matéria leve, como o papel e plástico.



**Figura 12 – Imagem do Separador Balístico por dentro**

- **Separador Ótico**

O separador ótico (Figura 13) é um equipamento com a tecnologia mais recentemente inventada que usa o infravermelho ou a espectroscopia laser. Tem um sistema de medição e classificação que identifica flocos de polímeros (material moído de um tamanho de poucos milímetros), localizado em uma correia transportadora em tempo real com base na fluorescência emitida de marcadores incorporados, que permite a separação de embalagens plásticas (poliméricos (P/C), polímero termoplásticos (PET), sacos de plástico e embalagens finas de plástico (FILM), embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL) e não plásticos. Quando o equipamento reconhece a tipologia do material pelo espectro existente em memória, aciona automaticamente um jato de ar comprimido que ejeta o componente.



**Figura 13 –Imagem do Separador Ótico**

- **Separador magnético**

Como nos resíduos urbanos existem metais ferrosos, no seu tratamento são utilizados equipamentos com efeito magnético, os separadores magnéticos (Figura 14). Estes equipamentos apresentam diferentes configurações: tambor, correia ou tela magnética e roldana de cabeça magnética. O facto mais importante a ter em conta prende-se com a seleção da força magnética a aplicar para vencer a altura e peso dos resíduos e retirar as matérias ferrosos do fluxo. A força magnética necessária depende do peso do material e da distância deste ao magnete.



**Figura 14 –Imagem do Separador Magnético**

- **Separadores de metais não-ferrosos (alumínio)**

A maior parte de embalagens de alumínio que chegam à parte da separação de metais não ferrosos, estão num estado deformado. Nas estações de triagem o separador de metais não-ferrosos funciona envolvendo com campo magnético repulsivo os metais a partir de corrente eléctrica induzida. Nas estações de triagem mais simples os metais não-ferrosos são reciclados manualmente; esta operação pode ser efetuada com recurso a equipamento de separação automática que aumenta a eficiência na produção.

### **2.5.1.2. Tratamento Biológico**

O tratamento biológico consiste na decomposição de matéria orgânica, do resíduo, através da utilização de microrganismos; usa tecnologia relativamente nova no tratamento de resíduos biodegradáveis utilizando rigorosamente o controlo biológico no processo.

Resíduos verdes, os restos de comida, excrementos dos animais, são adequadas para estas tecnologias. Nos resíduos urbanos provenientes de recolha indiferenciada aparecem outros materiais biodegradáveis, tais como papel e madeira, que também podem ser tratados, mas eles demoram mais tempo a degradar-se e podem afetar a eficiência e qualidade do processo.

Todos os processos de tratamento de resíduos biológicos envolvem a decomposição biodegradável por micróbios (bactérias e fungos) que utilizam resíduos biodegradáveis como fonte de alimento para o crescimento e proliferação das células [27].

No tratamento biológico existem três tipos de tratamento mais utilizados: 1) compostagem (ou digestão aeróbia), 2) vermicompostagem e 3) digestão anaeróbia.

- **Compostagem**

A compostagem (Figura 15) é um processo ecológico, simples e fácil que contribui para diminuir a carga que o excesso de resíduos sólidos exerce sobre o ambiente. É um processo aeróbio controlado de substratos orgânicos em condições que permitem atingir temperaturas suficientemente elevadas para o crescimento de microrganismos em três fases: fase mesófila, fase termófila e fase de maturação. No início da primeira fase deste processo, ocorre a decomposição das macromoléculas em compostos mais simples, com formação de açúcares solúveis, aminoácidos e ácidos gordos. Na segunda fase do processo, um aumento de temperatura surge como resultado da libertação de calor na degradação microbiológica dos substratos, dando origem a um intenso fenómeno de crescimento biológico com formação dióxido de carbono e água. A fase termófila deverá ocorrer entre os 55-65 °C. No final, na fase de maturação, o processo biológico abranda e dá-se a transferência de calor com o ambiente até a temperatura ficar estável. O processo de degradação da matéria orgânica mais refratária (madeira) é mais lento, começa pela celulose e a termina na lenhina.



**Figura 15 –Imagem do processo de compostagem caseira**

A compostagem é uma forma de eliminar metade dos problemas dos RSU), dando utilidade aos resíduos orgânicos (RO), evitando a sua acumulação em aterro, e melhorando a estrutura do solo, devolvendo à terra os nutrientes de que necessita, aumentando a sua capacidade de retenção de água, permitindo o controlo da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos. No tratamento de compostagem não temos necessidade de grandes gastos energéticos na produção de composto.

É determinante minimizar contaminações com outros materiais não biodegradáveis que possam influenciar a qualidade e as aplicações do composto na recolha seletiva dos resíduos orgânicos. Este processo exige vigilância e manutenção regular da pilha de compostagem, relativamente a fatores determinantes como a temperatura, a humidade. As características da matéria orgânica variam com o tempo, clima e tipo de operação de recolha. Também necessita de maior área de terreno do que na digestão anaeróbia, e em caso de mau funcionamento do sistema ocorre libertação de odores [28].

- **Vermicompostagem**

A vermicompostagem é uma tecnologia e um processo de tratamento controlado – incluindo redução em peso e volume – da fração orgânica dos resíduos com recurso a determinadas espécies de minhocas epígeas, inviabilizando-se o grau poluente e contaminante, produzindo-se ao mesmo tempo fatores de produção orgânicos. Faz parte de uma ciência relativamente recente denominada *Vermitecnologia* (**Figura 16**), um ramo da engenharia ambiental que compreende, para além da vermicompostagem e da vermicultura, as seguintes tecnologias.

### *Vermidepuração:*

Tratamento de afluentes e efluentes com recurso a espécies de minhocas epígeas contidas num filtro biológico, normalmente vermicompostagem.

### *Vermifertilização:*

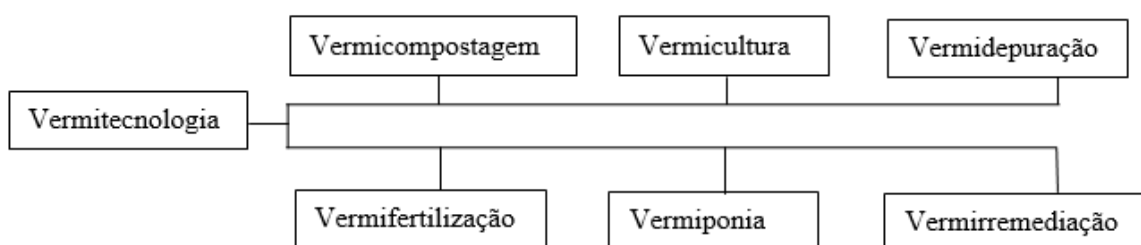
Produção de culturas com recurso aos produtos e subprodutos da vermicompostagem e vermicultura, sendo a base da fertilização orgânica dos solos.

### *Vermiponia:*

Produção de culturas sem solo com recurso ou não ao vermicomposto como substrato e ao lixiviado desse mesmo vermicomposto como solução nutritiva de carácter orgânico. Processo que inclui a bioponia.

### *Vermirremediação:*

Recuperação de solos ou substratos contaminados com metais pesados, poluentes orgânicos ou microrganismos patogénicos com recurso ao vermicomposto e/ou espécies de minhocas epígeas.



**Figura 16 – Subdivisões da vermitecnologia [29 ]**

A vermitecnologia engloba ainda os conceitos de ecologia, biologia e taxonomia de minhocas, incluindo o seu estudo filogenético, morfológico e comportamental.

A vermicompostagem é um processo biooxidativo e aeróbio, no qual determinadas espécies de minhocas detritívoras interagem, como já foi analisado anteriormente, com microrganismos e fauna decompositora, num processo de mutualismo, afetando de forma positiva e significativa as taxas de decomposição dos resíduos, em grande parte devido às alterações ocorridas nas suas propriedades químicas, físicas e microbiológicas. Através da

fragmentação e ingestão das partículas dos resíduos, as minhocas aumentam a sua superfície específica, alterando de forma evidente a densidade microbiológica presente.

As minhocas são uma das espécies animais mais antigas no planeta, facto que por si é revelador da sua importância, estimando-se que existam cerca de 8700 espécies. Tal como todas as minhocas epígeas, anésicas e endogénicas esta espécie pertence ao filo *Annelida*. Contudo, é erradamente denominada de “*Minhoca Vermelha da Califórnia*” sendo frequentemente causa de erro comum popular. De facto, o seu verdadeiro termo é “*Minhocas dos Resíduos Orgânicos*” ou “*Minhoca de Estrume*”. Os resíduos orgânicos constituem fonte de alimento para as minhocas e uma extensa diversidade de microrganismos. Para que estes se possam desenvolver nas condições adequadas existem determinadas necessidades químicas, como o carbono para fornecimento de energia e o azoto para constituição da sua biomassa (proteínas), e físicas, como oxigénio para a respiração e água para que o oxigénio possa ser difundido na massa de resíduos. Através do oxigénio e da humidade, e na presença de determinados requisitos é possível obter vermicomposto e minhocas, quer na vermicompostagem quer na vermicultura, embora as minhocas sejam maioritariamente um produto da vermicultura. Em ambos os processos são produzidos microrganismos (ou biomassa microbiana) e produtos resultantes do seu metabolismo.

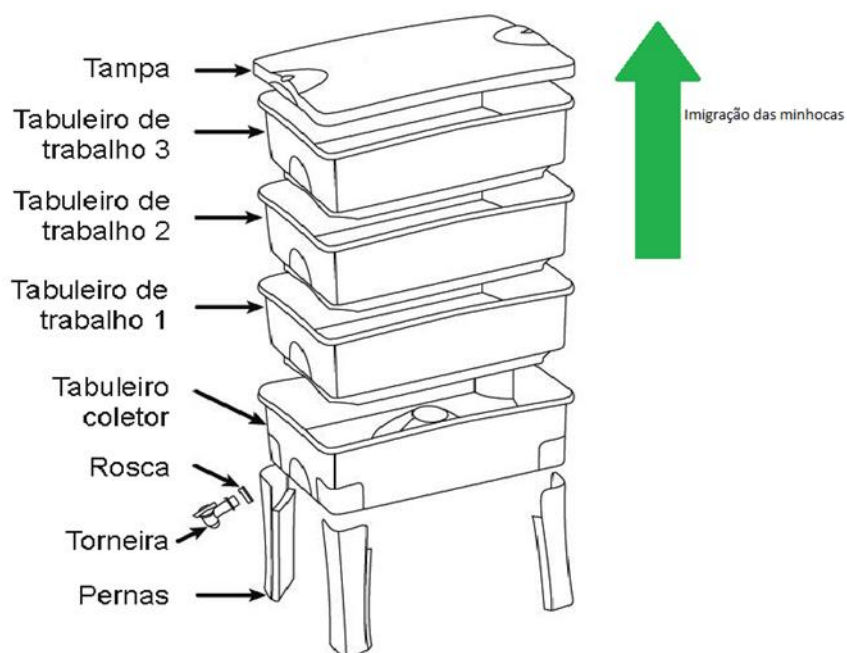
No tratamento dos resíduos orgânicos a partir das minhocas epígeas foram obtidos dois tipos de vantagens, relativamente à compostagem (Tabela 6): o vermicomposto e a vermicultura. Na vermicultura, é possível produzir biomassa de minhocas para multiplicação da unidade de vermicompostagem, para fornecimento a outras unidades externas ou para direccionar a sua produção enquanto fonte de proteína para alimentação animal ou isco para pesca de água doce. O principal objetivo passa por aumentar as populações de minhocas existentes por unidade de tempo, pelo que se utilizam densidades baixas- 0,25 a 1,0 kg·m<sup>-2</sup> - de modo a permitir a duplicação das populações entre cada 60-90 dias, dependendo da época do ano. Para uma quantidade hipotética e crescente de minhocas, admitindo-se uma quantidade de resíduo fixo, a disponibilidade por alimento seguirá uma proporcionalidade inversa, ou seja, para maior densidade de minhocas, a disponibilidade por alimento por minhocas diminuirá, razão pela qual o peso médio de uma minhoca adulta na vermicompostagem é geralmente menor em comparação ao da vermicultura [29].

Tabela 6- Principais diferenças entre vermicompostagem e a compostagem [29]

<b>Vermicompostagem</b>	<b>Compostagem</b>
<b>Processo em contínuo com produção diária de vermicomposto.</b>	Processo em descontínuo com produção periódica de composto 90 a 120 dias.
<b>Estimativa aeróbia</b>	Apesar de ser considerado um processo aeróbio poderão ser originadas zonas anaeróbias com formação de odores desagradáveis
<b>Ausência de processos fermentativos característicos da ausência de oxigênio</b>	Possível ocorrência de processos fermentativos característicos da ausência de oxigênio, conduzido a odores desagradáveis
<b>Maior controlo sobre as emissões de amoníaco – otimização da utilização do azoto pela fauna microbiana</b>	Menor controlo sobre emissões de amoníaco – menor utilização do azoto pela fauna microbiana
<b>Minhocas como principais agentes biológicos num regime simbiótico com a fauna microbiana</b>	Unicamente microrganismos como agentes biológicos, podendo, contudo, outros organismos colonizar o processo embora de uma forma não controlada
<b>Produto final de maior qualidade fertilizante</b>	Produto final de menor qualidade fertilizante
<b>Temperaturas mesofílicas baixas quase sempre presentes (20-30 °C). Possível presença de temperaturas mesofílicas altas (30-40 °C) durante a fase de estabilização dos resíduos</b>	As temperaturas termofílicas (>40 °C) são essenciais para o desenvolvimento do processo
<b>O arejamento é efetuado pela ação das minhocas</b>	Necessário arejamento manual ou mecanizado
<b>Eficácia na eliminação de organismos patogénicos</b>	Eliminação de organismos patogénicos nem sempre eficaz
<b>Processo eficiente: valor mínimo de 60%. Por cada unidade de resíduo como <i>input</i> são produzidas 0.6 unidades em vermicomposto dia<sup>-1</sup></b>	Processo pouco eficiente: por cada unidade de resíduos com <i>input</i> são produzidas 0.35 unidades em composto a cada 30 a 90 dias.

Uma das partes importantes sobre vermicultura é a área necessária para criação das minhocas. Uma tecnologia de vermicompostagem vertical que ao mesmo tempo pode

resolver o problema da área na localidade e manutenção do vermicompostor, que está apresentado na Figura 17.



**Figura 17 – Vermicompostor**

Este método tem grande eficiência na produção industrial e também pode ser utilizado nas casas privadas em jardim no local mais escuro e transformar os resíduos orgânicos em um composto orgânico de alta qualidade no curto prazo, que pode ser aproveitado localmente. Para começo de produção de vermicultura é muito importante no início fazer a cama para minhocas. Na situação ideal, elas precisam dos seguintes parâmetros: a cama tem de ser coberta com palha, folhas secas ou cartão, protegidos de luz solar; para alimentar 300 g. de minhocas durante uma semana, é suficiente 1 kg de matéria orgânica; temperatura ambiental estável dentro de 20-25 °C; humidade compreendida entre 70-80% onde espécies de minhocas epígeas são incentivadas a duplicar periodicamente a sua população, utilizando-se resíduos de natureza vegetal.

O volume de lixiviado que foi obtido na produção de vermicomposto será tão mais realista quanto maior o rigor na gestão dos teores de humidade na unidade. Por outro lado, a qualidade do lixiviado será tão mais elevada quanto mais eficazmente se mantiverem no meio condições de aerobiose, evitando-se a ocorrência de processos fermentativos. Os lixiviados são considerados fontes apreciáveis de nutrientes assimiláveis e da matéria orgânica dissolvida, podendo ser utilizado como fertilizante foliar ou em bioponia. Para

que o lixiviado seja aplicado às culturas com total segurança, deverão ser realizadas diluições na proporção de 1/2 a 1/10 v/v

- **Digestão Anaeróbia**

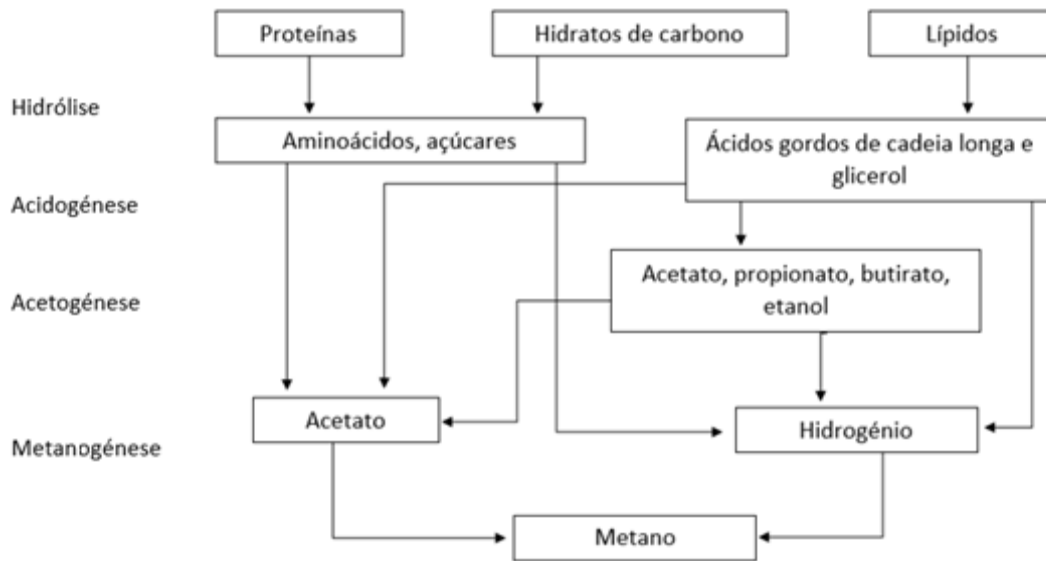
A digestão anaeróbica é um processo microbiológico complexo que ocorre na ausência de oxigênio e consiste na transformação da matéria orgânica em biogás, constituído por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Atualmente esta tecnologia da digestão anaeróbica tem sido indicada para tratamento de efluentes líquidos, resíduos animais e resíduos biodegradáveis, gerando energia calorífica e elétrica.

Numa primeira fase, a **hidrólise**, ocorre a fragmentação dos biopolímeros (proteínas, hidratos de carbono e lípidos) nos respetivos monómeros (aminoácidos, açúcares e ácidos gordos de cadeia longa), mediada por enzimas extracelulares (lípsases, celulasas, protéases, etc). Esta fase é de extrema importância por poder constituir uma etapa limitante do processo. Neste sentido têm sido realizados estudos, e numa tentativa de contornar a esta situação são introduzidos, no sistema, quantidades controladas de oxigênio. Os resultados demonstram que apesar de haver um efeito positivo na hidrólise e produção de metano, pode haver influências negativas, dependendo do tipo de reator e das condições operacionais [30].

À hidrólise, segue-se a etapa da **acidogénese**, na qual os produtos da primeira são transportados para o interior da célula, onde serão fermentados por ação das bactérias acidogénicas, formando ácidos gordos voláteis (AGV), etanol, dióxido de carbono e hidrogénio.

De seguida, inicia-se a **acetogénese** que consiste na transformação dos produtos da etapa anterior em acetatos, dióxido de carbono e hidrogénio, por ação das bactérias homoacetogénicas e das bactérias sintróficas (também chamadas produtoras obrigatórias de hidrogénio).

Por fim, os produtos resultantes serão transformados em metano e dióxido de carbono, por bactérias anaeróbicas obrigatórias, numa etapa denominada de **metanogénese**. O metano pode ser produzido por degradação do acetato originado na etapa anterior ou através do consumo de dióxido de carbono e hidrogénio, neste último caso por microrganismos diferentes. Na Figura 18 está representado o processo de digestão anaeróbia.



**Figura 18 – Esquema do processo de digestão anaeróbia**

O biogás obtido do processo de digestão anaeróbia varia em qualidade de acordo com a composição e biodegradabilidade da matéria orgânica a degradar. Em média contem 55 a 70% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30 a 45% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e uma pequena fração de sulfureto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) que pode variar entre 200 a 4000 ppm. O conteúdo energético do biogás varia entre 20 a 25  $\text{MJ/m}^3$ . A velocidade de produção de biogás é fortemente influenciada pela temperatura, podendo trabalhar-se em condições mesofílicas (30 a 40 °C) ou termofílicas (50 a 60 °C).

O outro produto resultante deste processo anaeróbico é um digerido, que pode ser utilizado como fertilizante de solos ou, o mais comum de acontecer, sujeito a um tratamento de estabilização por digestão aeróbia [31]. Por outro lado, este digerido pode sofrer uma etapa de desidratação seguida de maturação, de forma a estabilizar ou remover o odor no mesmo. O produto deste processo pode servir de corretivo de solos. Aqui, comparativamente à digestão aeróbia, é gerada menor quantidade de calor, sendo emprestada menos energia ao processo [32,33].

A atividade biológica anaeróbia é determinada, direta ou indiretamente, por diversos fatores físicos e químicos. O pH e capacidade tampão podem afetar direta ou indiretamente os processos de conversão microbiana. De modo direto, uma variação de pH pode afetar a atividade enzimática. De modo indireto, o pH afeta a toxicidade dos ácidos voláteis, a disponibilidade dos nutrientes, a disponibilidade de substratos (como proteínas) e a

disponibilidade de  $\text{CO}_2$ , que se torna muito baixa para pH superior a 8,3 [34]. Para um pH inferior a 6, pode ocorrer acumulação de AGV, cujas concentrações elevadas podem inibir a atividade das bactérias metanogênicas. Assim, produção de metano é ótima para pH entre 6,5 e 7,5, dependendo do tipo de substrato e de microrganismos envolvidos. Um pH  $< 6,0$  e  $> 8,3$  deverá ser evitado em qualquer situação.

A alcalinidade do bicarbonato pode ser adicionada a um digester através dos seguintes químicos:  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ , substâncias que reagem com o  $\text{CO}_2$  tais como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NaOH}$  e  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . A escolha depende do preço, da possível toxicidade, da eventual formação de precipitados indesejáveis ( $\text{CaCO}_3$ ) e do risco de *overdose* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ).

Para a maioria dos casos práticos, uma alcalinidade entre 2500 e 5000 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  é suficiente para se obter um adequado poder tampão no sistema [35].

A temperatura é também um dos fatores que mais influencia a eficiência do processo de degradação anaeróbica, uma vez que está intimamente ligada à capacidade de sobrevivência e adaptação da comunidade microbiana que degrada o substrato. Normalmente são consideradas três gamas de temperatura: mesófila (20 a 45 °C), termófila ( $> 45$  °C) e psicrófila ( $< 20$  °C). As bactérias metanogênicas apresentam um crescimento máximo na gama mesófila, para temperaturas entre 30 e 38 °C e na gama termófila entre 49 e 57 °C.

Embora a operação a baixas e altas temperaturas seja possível, a fase de arranque pode ser um processo problemático, podendo partir-se dum inóculo mesofílico e fazer uma diminuição ou aumento gradual até à temperatura desejada. No entanto, será sempre melhor partir dum inóculo adaptado à temperatura de operação. Quando a temperatura aumenta e excede a temperatura ótima de crescimento, começa a ocorrer a morte dos microrganismos presentes, com o conseqüente crescimento de espécies resistentes à temperatura, podendo ocorrer a completa substituição de uma etapa por outra.

O tratamento anaeróbio termofílico pode ser adequado para efluentes produzidos a altas temperaturas como, por exemplo, os de destilarias e de produção de papel e pasta de papel. A temperaturas elevadas, a lise celular ocorre rapidamente, e além do tempo necessário para o arranque dos processos ser, em geral, elevado, há maior sensibilidade a variações na carga orgânica ou à presença de óxidos, tornando o processo instável [36].

Como as bactérias metanogénicas têm taxas de crescimento baixas, as consequências de um incidente de toxicidade são mais agudas num processo anaeróbio do que aeróbio. Podem ser distinguidos diferentes tipos de toxicidade [37]: toxicidade metabólica (inibição competitiva de um processo metabólico que geralmente é reversível após remoção do tóxico (sais, azoto amoniacal) e toxicidade bactericida (toxicidade aguda que destrói as células, podendo haver recuperação de uma atividade a longo prazo, devido ao crescimento de um pequeno número de células sobreviventes).

Muitos dos compostos tradicionalmente referidos como inibidores, podem ser efetivamente biodegradados em compostos menos tóxicos por um processo anaeróbio adaptado (como, por exemplo, clorofórmio, tetracloreto de carbono e compostos nitro-aromáticos) sendo os intermediários posteriormente degradados em condições aeróbias [38].

A tolerância ao oxigénio pelas bactérias metanogénicas é diferente de espécie para espécie, podendo mesmo variar de estirpe para estirpe, de acordo com as condições ambientais [39]. Em afluentes pouco concentrados, o oxigénio pode atingir concentrações até 10 mg/L, o que pode inibir as bactérias metanogénicas e provocar o crescimento de organismos aeróbios ou facultativos na superfície dos agregados granulares, deteriorando as suas características de sedimentação. No entanto, os resultados obtidos por [40] indicam que na prática não foi observado efeito adverso do oxigénio sobre a eficiência do sistema de tratamento.

Em processos anaeróbios a carga máxima que pode ser aplicada não é limitada pela taxa à qual um dos reagentes (oxigénio) pode ser transferido para o sistema. No entanto, para um reator anaeróbio operar eficientemente devem ser asseguradas as seguintes condições [36]:

- Elevada concentração e retenção de biomassa ativa dentro do reator;
- Contacto suficiente entre a biomassa ativa e o substrato (efluente);
- Elevadas taxas de reação e ausência de limitações de transporte;
- Adaptação ou aclimação da biomassa ao substrato;
- Existência de condições ambientais favoráveis para toda a biomassa presente no reator.

Desde que se aplique a tecnologia adequada, se proceda a uma aclimação do consórcio e se mantenham as condições ambientais ótimas, o processo de digestão anaeróbia poderá ser, num futuro próximo, aplicado ao pré-tratamento de qualquer tipo de efluente,

industrial ou doméstico, complexo ou não complexo, muito concentrado em matéria orgânica ou muito diluído, numa gama alargada de temperatura [41]. Embora atualmente a aplicação do processo de degradação anaeróbia ainda esteja muito centrada no tratamento de efluentes de indústrias agroalimentares e relacionadas, investigações recentes têm demonstrado que as bactérias envolvidas no processo têm capacidade para degradar uma larga gama de compostos orgânicos recalcitrantes tais como compostos aromáticos policíclicos, compostos orgânicos clorados ou ácidos gordos de cadeia longa.

## 3. Caso de estudo

### 3.1. Apresentação da empresa

O sistema multimunicipal *Suldouro* iniciou a sua atividade em março de 1999, com a receção de resíduos urbanos com a entrada em exploração do aterro sanitário de Sermonde e da estação de triagem de Sermonde. Esta atividade foi criada pelo Decreto-Lei nº86/96, de 3 de junho tendo, a 30 de junho do mesmo ano, assinado o contrato de concessão com o Estado Português e os contratos de entrega e receção com os municípios que fazem parte do sistema Vila Nova de Gaia e Santa Maria de Feira. É assim a empresa concessionária responsável pela recolha seletiva, triagem, tratamento e valorização dos resíduos produzidos pelos municípios integrantes da sua área geográfica. No período de funcionamento, desde 1999 até 2016, foram feitas alterações para melhorar o processo de tratamento dos RU, que foram aconselhados com a Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU).

- Aterro sanitário, em funcionamento desde março de 1999, com unidade de aproveitamento energético de biogás;
- Estação de Triagem manual em funcionamento desde março de 1999 e automatizada em 2009;
- Ecocentros para deposição voluntária de resíduos urbanos, em funcionamento desde março de 1999;

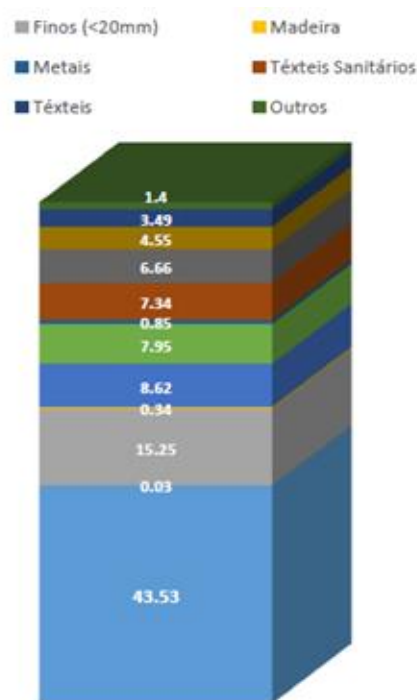
- Unidade de TMB (produção de biogás e compostagem), em funcionamento desde janeiro de 2012;
- Aterro sanitário novo em Canedo na localidade de Santa Maria de Feira.

Da área do território de Portugal Continental, numa perspetiva nacional, a *Suldouro* representa 0,4% e concentra 4,5% da população. Na Tabela 7 apresentam-se os dados territoriais e os dados relativos à proporção de resíduos provenientes dos dois municípios que constituem o sistema [42].

**Tabela 7 - Dados relativos aos resíduos recolhidos e territoriais dos concelhos integrantes do sistema multimunicipal no ano de 2015**

<b>Concelho</b>	<b>Área do território km<sup>2</sup></b>	<b>População residente (hab)</b>	<b>Densidade populacional (hab/km<sup>2</sup>)</b>	<b>Resíduos domésticos recolhidos em 2015</b>
<b>Vila Nova de Gaia</b>	168,46	301819	1791,6	75%
<b>Santa Maria da Feira</b>	215,88	139610	646,7	25%
<b>Total</b>	384,34	441429	1148,5	100%

Durante todo o ano, os dados relativos à proporção de resíduos provenientes dos dois municípios que constituem este sistema variam dependendo da época do ano: dias de feriados, férias, ano letivo dos estudantes, Páscoa e Natal. Foi efetuada uma caracterização dos resíduos urbanos do sistema nos meses de março e abril de 2016. Como o estudo não foi muito profundo, não é apresentada a composição dos resíduos provenientes de recolha seletiva, sendo que o restante resultado obtido da análise física da campanha anual é apresentado na Figura 19 e no Anexo B. Analisando o gráfico da referida figura, conclui-se que quase metade dos resíduos sólidos urbanos, precisamente 43.53%, são bioresíduos.



**Figura 19 – Composição Física média nos RU recolhidos indiferenciadamente encaminhados para TMB [43]**

### **3.2. Missão da *Suldouro* e projetos realizados pela empresa**

Antes de detalhar o sistema de tratamento de resíduos da *Suldouro*, terei de proceder a uma breve contextualização através da citação da sua política empresarial: “A *Suldouro*, S.A., consciente da sua Missão e de como esta influi na qualidade de vida populações, considera fundamental integrar as vertentes da gestão da qualidade, ambiente, segurança e saúde, na sua atividade, comprometendo-se, para esse efeito, a:

- *Assegurar a sustentabilidade económica e ambiental da Suldouro, S.A., concretizando os investimentos necessários e melhorando progressivamente o desempenho da organização;*
- *Satisfazer as necessidades dos seus clientes, melhorando continuamente a qualidade dos serviços prestados;*
- *Prevenir a poluição, controlar e minimizar os impactes ambientais;”.*

Do ponto de vista do seu posicionamento estratégico:

*“Em consonância com o posicionamento estratégico atrás referido, e no seguimento do caminho orientados dado pelo PERSU II e pelo PIRSUE, os objetivos estratégicos,*

*constantes nos PAPERSU e PPRU, para o novo modelo de gestão de resíduos da Suldouro, são:*

- Maximizar a valorização energética do biogás do aterro;*
- Desviar de aterro, dos resíduos orgânicos/biodegradáveis a serem encaminhados para uma Central de Valorização Orgânica (CVO), por digestão anaeróbia (...)*
- Promover o aproveitamento de resíduos recicláveis, a partir da separação mecânica da CVO;*
- Incrementar a recolha seletiva multimaterial das frações recicláveis com recurso à colocação de novos ecopontos, completada através de recolha porta-a-porta;”*

Apesar da missão e dos compromissos assumidos pela Suldouro perante a população que serve, constatou-se que a realidade é um pouco diferente, nomeadamente no que toca a satisfazer as necessidades dos clientes. Isto porque as pessoas que fazem a separação dos resíduos nos ecopontos, não têm ao seu dispor contentores próprios para matéria orgânica. Isto é uma necessidade que os clientes demonstraram, no entanto não se verificou nenhuma iniciativa para responder a esta exigência.

Para estar em conformidade com os pontos acima descritos e para minimizar os resíduos urbanos indiferenciados, a empresa realizou vários projetos tais como: “Compostagem Doméstica” (começou em 2010 e decorre até ao momento da realização deste trabalho), “Projeto Fraldinhas” (realizou-se em 2010); “Educação e Sensibilização Ambiental” (desde o ano 2010 até ao momento), “Toneladas de Ajuda”.

No âmbito do programa “Compostagem Doméstica”, foram distribuídos 1050 compostores em Vila nova de Gaia em casas privadas, hortas e escolas; em Santa Maria da Feira foram distribuídos em casas privadas 732 compostores. Este programa foi alvo do maior investimento da empresa, no valor de 73000 €, uma vez que o seu objetivo principal era o de contribuir para o cumprimento das metas previstas no Plano de Prevenção de Resíduos Urbanos, reduzindo até 2016 entre 10% e 21% a produção de resíduos urbanos por pessoa. No entanto até à data da realização do trabalho, não foram divulgados os resultados deste projeto, ficando-se sem saber se o mesmo cumpriu os objetivos previstos ou se fracassou.

Outro projeto, alvo de um considerável investimento por parte da Associação Portuguesa do Ambiente foi o “Projeto Fraldinhas”. Este consistia na diminuição de fraldas utilizadas

que eram direcionadas para os aterros. Para isto foram entregues 144 kits (6 fraldas reutilizáveis e laváveis em cada kit), no entanto o programa considerou-se um fracasso uma vez que após a entrega dos kits não se verificou nenhuma atividade a fim de dar continuidade ao projeto.

Todavia existiram projetos que obtiveram um enorme sucesso, como por exemplo “Toneladas de Ajuda”. Teve início no ano letivo 2015/2016 e consistia em campanhas nas escolas públicas (38 escolas que principiaram no projeto), onde foram distribuídos sacos azuis e amarelos para que os alunos fizessem a reciclagem em casa e trouxessem para a escola os resíduos separados. Por cada 7 kg de plástico a escola recebia 1 €, por cada 20 kg de papel a mesma recebia 0,75 €. No fim do ano, este dinheiro era utilizado pela escola para as suas necessidades ou mesmo para alunos com carências económicas. Esta campanha trouxe para a *Suldouro* 47 toneladas de matéria reciclável com boa qualidade. Este é um exemplo de projetos que obtiveram um enorme sucesso.

### 3.3. Metas de PERSU 2020 específicas para o sistema

Após a realização de estudos para o SGRU sobre as metas de PERSU 2020, foram adotadas as estratégias para cada sistema de gestão de resíduos urbanos e instalação. As metas definidas para a *Suldouro* enquadradas nos objetivos transversais ao setor são apresentadas de seguida:

- Reforço dos instrumentos económico-financeiros;
- Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do setor;
- Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do sector;
- Aumento do contributo do sector para outras estratégias e planos nacionais.

Os objetivos associados às metas nacionais que devem ser cumpridos pela *Suldouro* estão presentes no Despacho nº 3350/2015 de 1 de abril e foram transpostos para a Tabela 8.

**Tabela 8 - Objetivos e metas do PERSU 2020 para a *Suldouro* [41]**

Metas	2016	2017	2018	2019	2020
Retomas de Recolha Seletiva (kg/hab.ano)	32	33	37	42	45
Redução da deposição de RUB em aterro (%)	75	75	74	61	50
Preparação para a Reutilização e Reciclagem (%)	24	24	24	32	39

### 3.4. Funcionamento da Central de Valorização Orgânica da *Suldouro*

A Central de Valorização Orgânica (CVO) da *Suldouro* foi dimensionada para valorizar os resíduos biodegradáveis contido nos RSU, reduzindo a sua deposição no aterro sanitário de Sermonde. A construção da CVO para a *Suldouro* surgiu no âmbito da aplicação do Decreto-Lei nº 178/2006, que estabeleceu o PERSU II, e do Decreto-Lei nº 152/2002, que no seu Art.º 7º estabeleceu as metas para redução dos RUB destinados a aterro. Este projeto foi financiado pela UE, através do Fundo de Coesão, contribuindo para a gestão sustentável dos resíduos da região.

Resumidamente, a CVO foi planeada para receber até 43000 t/ano de RU, que serão submetidos a processo de pré-tratamento seco (tratamento mecânico) e húmido (tratamento hidromecânico), triagem manual, digestão anaeróbia para produção de biogás com valorização energética e compostagem das lamas digeridas. O regime de laboração da CVO é de 250 dias/ano e 24 h/ dia.

#### 3.4.1. Tratamento mecânico (pré-tratamento seco)

Os resíduos indiferenciados, provenientes das viaturas de recolha são descarregados numa zona de descarga com inclinação suficiente para encaminhar escorrências. A área de armazenamento dos RSU foi concebida de forma a estar fechada e coberta, com espaço suficiente para armazenar RSU durante 3 dias, e manusear os mesmos. Os resíduos são inspecionados visualmente e transportados por intermédio do equipamento multifunções.

- **Bunker Piso Móvel** – precede o início do processo de tratamento seco (TM). Com uma pá carregada alimenta-se o *Bunker* com o RSU. O bunker faz as doses dos resíduos que passam no tapete transportador rolante para o tratamento na cabine de pré-triagem.
- **Cabina de pré- triagem** – tem importância na operação, não só com a separação de matérias para valorização ou com a garantia da qualidade do futuro digerido, mas também com a proteção dos equipamentos a jusante. Na cabine de pré- triagem manual passa o processo de recolha de resíduos de grandes dimensões e volumes.
- **Abre-sacos** - tem a função de tornar disponível todo o conteúdo anteriormente confinado de maneira a que seja mais eficiente a remoção de recicláveis para valorização e de contaminantes que poderiam comprometer tratamento biológico.

- **Separador Granulométrico (Crivo ou Trommel)** - recebe os resíduos que foram encaminhadas por um tapete transportador rolante. Dentro do equipamento está instalada uma grelha com um diâmetro de abertura definida a 80 mm, com movimento de rotação passa a separação entre dois fluxos. A fração com granulação inferior a 80mm, mais rica em matéria orgânica, pode estar misturada com metais. Para melhorar a qualidade de matéria orgânica ela é encaminhada para um separador magnético onde são removidos metais com vista á valorização deste material. Depois do separador magnético a matéria orgânica é encaminhada para um *Bunker* de armazenamento que fica aprovionada para o tratamento hidromecânico, abordado mais à frente.
- **Separador balístico** – com o tapete transportador rolante a fração com granulação superior a 80mm que sai do Separador Gramométrico é encaminhada para um separador balístico. Este equipamento faz a separação de três fluxos diferentes: uma fração intitulada de “finos” que tem uma granulação inferior a 60 mm que consegue passar pela grelha, por gravidade, com tapete transportador encaminhada para o mesmo circuito que a fração inferior a 80mm que foi separada com o Separador Granulométrico. Segundo fluxo que passa pelo separador balístico é mais leve: os materiais são arrastados pelo atrito provocados pelas placas em movimento e com tapete transportador transferidos para uma cabina de triagem – onde manualmente se remove material como: filme, PET e polietileno de alta densidade (PEAD). Com aumento de valorização de separação existe um separador magnético para remoção das matérias metálicas. O terceiro fluxo é material com características físicas que tem menor ação do atrito, fica na parte inferior do separador balístico que através de um tapete transportador rolante é encaminhado para separador ótico, denominados rolantes.
- **Separador ótico** – com a tecnologia de medição e classificação que identifica flocos de polímeros em material que é transportado através de um tapete rolante para identificação e separação calibrado de resíduos de PET, PEAD. Estes resíduos separados pelo separador ótico são encaminhados para um de dois contentores, equipados com sensores de enchimento que controlam a placa de encaminhamento dos resíduos; se um deles fica cheio gira para outro contentor. Quando o contentor fica cheio é encaminhado para a central de triagem com vista á separação por classificação para posterior enfardamento, num turno díspar da operação com material proveniente da recolha seletiva. O material que não foi separado pela

leitura ótica é transportado para o tapete rolante que sai da cabina de triagem e passa também mais uma separação magnética, depois será considerado refugo e terá como destino a deposição em aterro controlado.

Neste sistema da instalação, o pré-tratamento seco aumenta e permite a rentabilização da unidade de recuperação de recicláveis e capacidade de armazenamento da matéria orgânica no *Bunker*.

### 3.4.2. Tratamento hidromecânico (tratamento húmido)

A matéria orgânica que foi recolhida no processo de tratamento mecânico é armazenada no *Bunker*. A ordem da existência de armazenamento precisa-se para diferenciar o tempo entre o seu enchimento e a alimentação dos dois *Pulpers*, que compreende um desfaseamento de 40 minutos. Para o funcionamento deste sistema em segurança foram instalados dois *Pulpers*; esta escolha será descrita mais adiante.

- ***Pulper*** - é um equipamento com o volume de 40 m<sup>3</sup> que tem uma capacidade de produção de cerca de 32 m<sup>3</sup> de suspensão, que por norma está em funcionamento 16 horas por dia, 250 dias por ano. O carregamento é controlado por um sistema automático. No sistema de instalação para melhorar a eficiência de funcionamento foram instalados dois *Pulpers* que são capazes de processar resíduos em simultâneo, mas é necessário garantir um desfaseamento de 40 minutos. Esta escolha de instalar dois *Pulpers* permite o funcionamento do processo em segurança quando um dos *Pulpers* entra em manutenção. Na Figura 20 está identificado o equipamento do *Pulper* do processo.

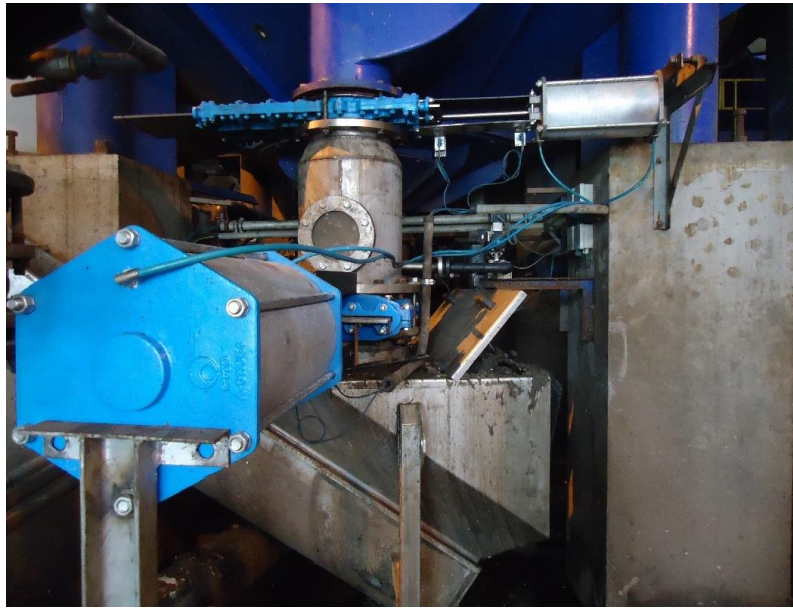


Figura 20 – *Pulper* nas instalações *Suldouro*

Águas residuais e águas do processo alimentam o tanque do *Pulper* até 21 m<sup>3</sup> juntamente com os RUB que foram transportados com o tapete rolante do *Bunker*; a alimentação ocorre por período normalmente próximo dos 30 min. Durante a fase de alimentação, o motor do *Pulper* gira o helicóide com uma baixa velocidade. O helicóide foi concebido para exercer um poder de corte hidráulico elevado do conteúdo do tanque, sem por isso originar a desintegração de materiais biologicamente estáveis como os plásticos, os têxteis, o vidro e metal. A potência do *Pulper* e a concentração de suspensão são rigorosamente controlados durante todo o ciclo: pelo nível que a suspensão atinge no *Pulper* estando estabelecido um limite de 30 m<sup>3</sup>, pelo consumo energético do helicóide. O segundo mecanismo é o mais comum e possui um caráter preferencial visto o equipamento minimizar o uso de energia e a desintegração de materiais inertes. Ao mesmo tempo, favorece a obtenção de substratos digeríveis. No início do ciclo de formação da suspensão (viscosidade), as pedras, vidro, grandes ossos, pilhas e objetos metálicos sedimentam no fundo do tanque e, por influência da força centrífuga, são recolhidos nuns coletores de frações pesadas adaptado ao reservatório. O helicóide funciona a baixa velocidade, na ordem dos 75 m/min, durante esta fase do processo de suspensão, de modo a minimizar o desgaste e a desintegração dos resíduos que não são biodegradáveis. O helicóide aumenta a velocidade na ordem dos 200 m/min para transformar em suspensão os orgânicos digeríveis e continua até que se atinja a correta concentração da suspensão com a velocidade em funcionamento de 150 m/min. Ao completar este processo o helicóide compreende duas fases sendo que a primeira tem a duração de 15 min e prende-se com a formação da polpa antecedendo uma primeira descarga do tanque é bombeado para o tanque do sistema de remoção de areias. Depois de descarga o *Pulper* é alimentado com água, 5 m<sup>3</sup>, iniciando a segunda fase do processo que durante 8 min é aproveitado para descarregar suspensão com aproximadamente a 5-7% de sólidos totais, sai do *Pulper* através de uma grade perfurada com 10 mm de diâmetro perfuração. No final deste processo o *Pulper* é cheio com 24 m<sup>3</sup> de água para começar o processo de limpeza do equipamento onde existe fração leve e pesada. A remoção da fração leve é efetuada pelo ancinho que mergulha continuamente nos *Pulpers* 73 vezes arrastando consigo os resíduos que são encaminhados para uma prensa com o objetivo de remover a água nela contida e também de reduzir o volume dos resíduos, refugo neste processo.

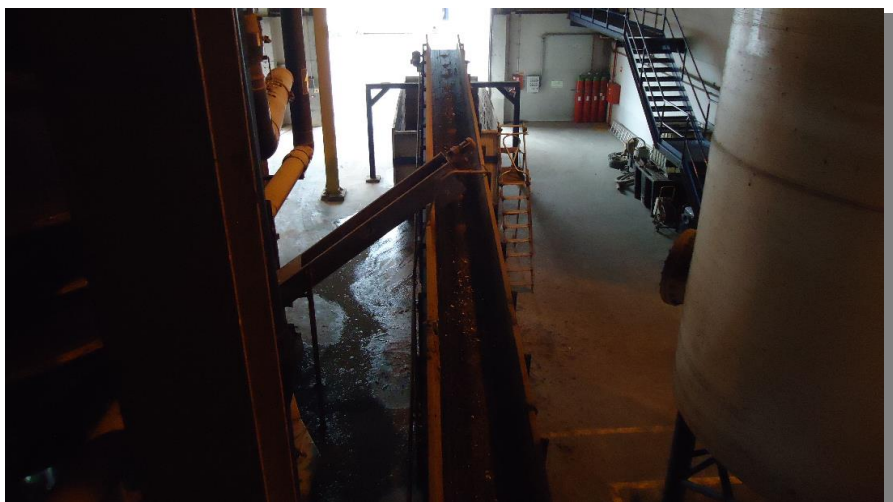
A fração pesada acaba por cair no fundo do equipamento onde existem coletores específicos – é removida pelas duas saídas supracitadas e existe um sistema próprio

equipado com duas válvulas, que estão apresentados na Figura 21.



**Figura 21 – Válvulas do *Pulper* nas instalações Suldouro**

A primeira válvula abre, o que implica a queda da fração pesada ocorrendo injeção de água a grande pressão em contracorrente o que faz a lavagem dos pesados, - empurrando para cima a suspensão que possa ter saído - sendo estes, por gravidade, transportados pela segunda válvula que, quando aberta, tem ligação a um tapete rolante que encaminha esta fração – também refugo no processo - para um contentor. Este mecanismo só está ativo nas fases de alimentação e descarga de contaminantes estando, portanto, fechado nos processos de *Pulper* e descarga da suspensão. O refugo deste processo esta apresentado na Figura 22.



**Figura 22 – Imagem da descarga de fração pesada**

O funcionamento principal do *Pulper* é realizado basicamente para facilitar a obtenção dos 3 objetivos: desintegrar os resíduos biodegradáveis para rentabilizar o processo de digestão, remover os contaminantes que não são biodegradáveis, tais como frações pesadas, e remover os contaminantes que não são biodegradáveis, tais como frações leves.

A duração do processamento de cada ciclo, depende muito do tipo de resíduos e da sua composição. A duração típica do ciclo será 80 minutos, mas pode ser operado de forma variável para ser adaptado às variações na tipologia dos resíduos.

- **Grit Removal System (GRS)** – É um sistema de remoção de areias. A suspensão retirada dos dois *Pulpers*, contém ainda partículas inertes, até 10 mm. A suspensão proveniente do *Pulper* passa a montante para o reservatório 1, onde fica acumulada até um nível aproximadamente de 11 m<sup>3</sup>, quando acumula a nível pré-definido começa o processo de remoção de areias e termina com um volume armazenado de 8 m<sup>3</sup>. Este sistema de alimentação é constituído por 3 unidades de (GRS) onde a suspensão pode circular de novo no tanque de alimentação e de novo através do hidrociclone, para melhorar a eficiência da remoção: GRS 1 transporta a suspensão do reservatório 1 para o reservatório 2, ou recircula a suspensão do reservatório. O GRS 2 está continuamente a recircular o conteúdo do reservatório 2. A suspensão do reservatório 2 é bombeada para o reservatório 3, onde o GRS 3 efetua a limpeza final da suspensão. A função principal dos hidrociclones é a eliminação das areias que ainda tem estão presentes na suspensão, utilizando o princípio da força centrífuga a suspensão sobe e partículas até 10 mm embatem nas paredes de hidrociclone acabando por precipitar. As areias precipitadas caem para uma câmara com dupla válvula pela abertura de uma válvula superior até ao enchimento completo da caixa de areia. É então injetada água de processo contra-corrente para limpeza de matéria orgânica ainda agregada às areias. A abertura da válvula 2 permite que as areias e água de limpeza contendo os orgânicos, sejam encaminhados para um parafuso sem fim onde ocorre um processo de desidratação. As areias são então encaminhadas, por tapete transportador até um contentor. O contentor é transportado através de um camião para deposição em aterro. A água de processo por sua vez é recolhida e utilizada novamente nos pulpers. Para fechar o tratamento hidromecânico e começar o processo do tratamento biológico a suspensão orgânica passa por espessadores onde reduz o volume de água e aumenta a concentração de sólidos na suspensão, até aproximadamente 10%, sendo então

transferida para o tanque de suspensão (*Buffer de suspensão/* homogeneização). A suspensão pode ser bombeada, livre de plásticos, areias e outros, tornando-se assim fácil de manusear em termos da técnica de processo.

### **3.4.3. Tratamento biológico**

Conforme referido anteriormente, o tratamento biológico realizado na CVO da *Suldouro* inclui uma etapa de digestão anaeróbia da fração orgânica biodegradável separada no tratamento mecânico, à qual se segue uma etapa de compostagem, para estabilização da lama digerida.

- **Tanque tampão de homogeneização (*Buffer de suspensão*)**

Para se obter uma operação de digestão satisfatória e a melhor produção de biogás, tanto em termos de qualidade como de quantidade, é essencial que o processo de digestão anaeróbia se processe em condições reguláveis. Para se obter este regime de alimentação, com uma fonte intermitente de produção de suspensão pelos *Pulper* funcionado por etapas, existe um tanque tampão (*Buffer*) de cerca de 500 m<sup>3</sup> líquidos, proporcionando um depósito de alimentação suficiente para operação de 24 horas por dia e 7 dias por semana (sem alimentação só dá para o fim-de-semana) Para obter uma mistura adequada e garantir homogeneidade, o tanque é arejado com ar comprimido, podendo-se controlar os níveis existentes de oxigénio, que é mantido na ordem dos 16-17%, por intermédio de um conjunto central de tubos no fundo do tanque provocando a rotação da suspensão. A hidrólise bacteriana tem início neste tanque e vai consumir oxigénio (processo aeróbio), por isso mantém-se no ar injetado um nível de oxigénio cuidadosamente controlado para impedir a formação de metano e misturas com cheiro.

- **Digestores**

A suspensão é bombeada a partir do tanque tampão para os digestores, cada um com o volume de 2250 m<sup>3</sup>, o volume utilizado na realidade são 2.100m<sup>3</sup>, onde terá lugar a produção de biogás, através do processo anaeróbio. O sistema de alimentação dos digestores é automático e semi-contínuo. Isto é, são alimentados durante 24 horas por dia, sete dias por semana, por curtos períodos e com intervalos frequentes na ordem do 78-80 m<sup>3</sup>, utilizando bombas adequadas para transporte de produtos de caudal lento com sólidos. Um nível elevado de fluido no escoadouro do digestor inibe a bomba de alimentação dos

digestores. Como o processo é semi-contínuo a descarga do digestor é feita nos dias úteis de semana. Sábado e domingo o processo de descarga está parado. A suspensão digerida nestes dias sai do processo na segunda-feira.

- Alimentação dos digestores: 7 dias x 80 m<sup>3</sup> x 2 digestores = 1120 m<sup>3</sup> de matéria orgânica;
- Descarga da matéria digerida: 5 dias x 112 m<sup>3</sup> x 2 digestores = 1120 m<sup>3</sup> de matéria digerida.

Cada digestor é um reator misto completo. Uma mistura contínua e suficiente no digestor é muito importante e tem essencialmente três objetivos:

- O transporte para a biomassa(bactérias) dos produtos iniciais e de reação, para permitir o máximo de degradação da matéria orgânica, desgasificar a biomassa e manter condições constantes em termos de temperatura e propriedades químicas no digestor;
- Criar uma corrente forte à superfície o mais rapidamente possível, para evitar a formação de uma camada de espuma ou para a destruir caso se forme;
- Evitar sedimentação da biomassa e resíduos sólidos que poderão causar zonas mortas no digestor e conseqüentemente, problemas mecânicos para extrair a biomassa digerida.

A mistura com biogás comprimido provou ser uma solução perfeita para atingir este resultado com a máxima performance: revolver o digestor até cerca de 15-25 vezes o seu volume por dia. Existem dois compressores de modo a que um compressor possa servir os dois digestores, caso seja necessário. Em caso de avaria ou manutenção de um compressor, o gás comprimido do segundo compressor será – com a ajuda de uma válvula automática – descarregado alternadamente para cada um dos dois digestores. Em comparação com a mistura mecânica por misturadores motorizados, a mistura com biogás não contém nenhuma parte móvel dentro do reator, que passa falhar, ser substituída ou requerer manutenção e por isso havia paragens causadas pelo esvaziamento do reator. A eletricidade necessária para a mistura com gás é significativamente mais baixa do que para a mistura com agitadores mecânicos.

O processo biológico é realizado em condições de temperatura mesofílicas, isto é, entre 36 e 38 °C, mas ensaios experimentais conduziram à alteração da gama para 38 a 39 °C conferindo maior segurança à operação e ao escoamento no decorrer do processo.

A temperatura do digestor é monitorizada e mantida por um sistema de recirculação exterior através de permutador de calor. O permutador de calor aproveita a água da cogeração. Esta água é também aproveitada no aquecimento de água para balneários e aquecimento de edifícios da *Suldouro*.

O pH é também controlado, mantendo-se numa gama situada entre 7,4-7,9 para permitir o correto desenvolvimento dos microrganismos. O controlo de nível é também efetuado sendo que o sistema está equipado com um tanque adjacente para onde é encaminhada a suspensão em *overflow*. O tempo médio de retenção hidráulica da suspensão é de 25-30 dias, sendo que, cerca de 50-55% da matéria orgânica seca carregada nos digestores será convertida em biogás. Para evitar problemas de contaminação e consequente inibição do processo, é injetado em ambos os digestores uma solução diluída de hidróxido de ferro - aproximadamente 0,3 kg/L -, complementado pela adição de oxigénio (O<sub>2</sub>) atmosférico, por forma a precipitar os compostos de enxofre que seriam capazes de formar ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), tóxico para os microrganismos.

A suspensão digerida é automaticamente bombeada dos digestores para as prensas de desidratação, sob nível controlado.

- **Separação sólido – líquido**

O objetivo da separação sólido-líquido é de dividir a biomassa digerida numa fração líquida fina, com um conteúdo total de sólidos muito baixo (aproximadamente 1%) e uma fração sólida com um nível elevado de conteúdo sólido. A suspensão é continuamente bombeada dos digestores, numa quantidade média controlada, para duas prensas de desidratação tipo parafuso. Antes de entrar nas pensas tipo parafuso, é adicionada à suspensão uma solução polielectrolítica. A lama obtida é transportada para o reator de floculação através de uma bomba de lamas. O coagulante necessário é continuamente preparado numa central de preparação de coagulante completamente automática e adicionado à suspensão. Um misturador, que se encontra no interior do reator de floculação, garantirá uma mistura intensiva. A lama pré-desidratada é desidratada continuamente nas prensas pelo aumento da pressão. Com a circulação contínua de lama evita-se a elevada resistência de filtragem e, assim, é possível obter com uma pressão menor uma maior capacidade de desidratação. O retorno de fluxo parcialmente filtrado garante uma melhor qualidade do filtrado. A fração líquida é descarregada num

escoadouro. A partir daqui os líquidos são bombeados de volta para o tanque de água de processo.

- **Compostagem**

A matéria orgânica para compostagem é transportada da zona de receção para as divisões da compostagem através de uma pá multifunções, onde passa por um processo de higienização, antes de ser atingida a qualidade do composto final. A higienização decorre ao manter um ambiente termofílico (55-80 °C), durante o período de 7-14 dias. Como o processo de compostagem é exotérmico, por decomposição microbiana da matéria orgânica, não é necessário utilizar energia externa. Nestas divisões da compostagem, o material permanece com um tempo de retenção de 14 dias. Para melhor o funcionamento do sistema de ventilação instalado sob a superfície, é posta palha sob forma piramidal para prevenir o entupimento do sistema e controla a concentração de oxigénio presente no interior das pilhas.

Após a higienização o material é transportado para a área da pós-compostagem, através da pá multifunções, sendo disposto em pilhas. Estas pilhas também são arejadas por um sistema de ventilação instalado no solo. Após 12 semanas a compostagem do material está completa.

- **Tanque e tratamento de água de processo**

A água extraída é armazenada no tanque de água de processo. Este tem uma capacidade volumétrica de 500 m<sup>3</sup>, armazenando a quantidade necessária a fornecer para dois dias. Grande parte da água do processo será imediatamente utilizada de novo nos *Pulpers*, para dissolver os resíduos, sendo a restante transferida para a estação de tratamento de águas residuais (ETAR). Os tanques estão equipados com um agitador e com todos os componentes necessários para medição e segurança.

No tratamento de água de processo, que está a alimentar o processo de digestão anaeróbia, como já estudado, é maior a propensão para gerar efluentes oriundos de etapa de separação sólido-líquido e outras fontes pontuais no sistema, onde existe a necessidade de um tratamento prévio.

A estação de tratamento de águas residuais edificada nas instalações da *Suldouro* foi projetada para compreender as seguintes etapas:

- O processo de microfiltração (tratamento mecânico) sendo que depois do tratamento existe reutilização do efluente nos processos de lavagem na fase de tratamento biológico da unidade de TMB;
- Tratamento biológico consiste numa zona de desnitrificação no início do tratamento biológico. A água reciclada proveniente da nitrificação é misturada com água de resíduos fresca, proveniente do microfiltro, na chamada “zona anóxica”, onde os nitratos da água reciclada são reduzidos a azoto gasoso, através de moléculas de carbono na água de resíduos fresca. Esta zona é apenas misturada com agitadores e não é arejada. O azoto gasoso desprende-se da água, reduzindo assim a concentração total de azoto;
- Depois da desnitrificação na zona arejada, a zona de nitrificação serve para reduzir a carga orgânica por degradação bacteriana, com a ajuda do oxigénio transferido para o líquido por arejamento. Quando a degradação do carbono orgânico está quase concluída, os compostos de azoto são oxidados para obter nitratos. Esta água com nitratos é reciclada no início do tratamento para permitir a já mencionada desnitrificação;
- Remoção de sólidos suspensos, através de um microtamisador, para evitar sobrecargas da parte biológica e também obter água apropriada para ser usada no processo, para lavagem e enxaguamento. Os sólidos retirados são recolhidos e bombeados de novo para os digestores. Uma parte da água é armazenada num tanque de água de processo, outra parte é tratada na área biológica da ETAR.
- **Limpeza, armazenamento e uso do biogás**

O sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) precisa de ser retirado do biogás produzido, de modo a evitar a corrosão dos equipamentos e reduzir os níveis de SO<sub>2</sub>/SO<sub>3</sub> aquando do uso do biogás. Isto é simplesmente feito através do método de dessulfuração conhecido, que consiste em injetar uma pequena quantidade de ar diretamente na parte vazia de cada digestor. O processo será controlado cuidadosamente para evitar qualquer mistura de gás explosivo. O biogás produzido é conduzido para um coletor de condensação, enchido com gravilha, onde água contida no biogás é parcialmente separada. A gravilha serve para reter componentes sólidos que tenham eventualmente entrado, como por exemplo partículas de espuma e de proteção contra chamas. Na segunda etapa o biogás é transportado para o gasómetro de dupla membrana, com sistema de ventilação e capacidade de armazenamento

de 4000 m<sup>3</sup>, ficando disponível para utilização. Por questões de segurança, está instalado um queimador para queimar o excesso de biogás.

- **Tratamento de ar biofiltros**

Ar com efluentes gasosos sofre um tratamento de limpeza nos biofiltros. O primeiro biofiltro, com maior dimensão, realiza o tratamento do ar que circula dentro da CVO, o segundo biofiltro está a tratar o ar proveniente do processo de compostagem. Na passagem do ar nos biofiltros, o ar fica devidamente limpo e pode ser libertado para a atmosfera [44].

### **3.5. Análise ao desempenho do sistema da *Suldouro***

Conforme exposto, conclui-se que o sistema de gestão de resíduos da *Suldouro* é um sistema integrado, capaz de maximizar o valor dos resíduos admitidos nas suas instalações. No entanto, existe ainda potencial de melhoria significativa do desempenho do sistema, no que se refere às metas estabelecidas para a valorização multimaterial e orgânica/energética. Tal deve-se ao facto de a matéria orgânica biodegradável não ser recolhida separadamente e de apenas uma pequeníssima fração dos habitantes que o sistema serve ter atitudes facilitadoras desta melhoria.

Por outro lado, foi demonstrado, em alguns projetos piloto promovidos pela *Suldouro*, que a população pode participar ativamente, se convenientemente motivada.

É, portanto, neste cenário que surge a motivação para o estudo do caso da valorização dos dejetos de animais de companhia.



## 4. Desenvolvimento experimental

Para o cumprimento das metas de redução da deposição de RUB em aterro, (expostas no capítulo anterior), a *Suldouro* irá prosseguir com a valorização de resíduos urbanos biodegradáveis, em detrimento do seu envio para deposição em aterro sanitário, efetuando para tal o tratamento biológico da fração orgânica recuperada de resíduos indiferenciados na unidade de TMB existente. A valorização orgânica de RUB será feita por tratamento biológico, quer de resíduos verdes recolhidos seletivamente, quer de resíduos orgânicos recuperados dos resíduos indiferenciados. Assim, os objetivos estratégicos para o modelo técnico da gestão de resíduos, que a *Suldouro* pretende assumir no contexto orientador dado pelo PERSU2020, passam fundamentalmente por:

- Manter a exploração da unidade de Tratamento Mecânico e Biológico de resíduos urbanos em Sermonde, implementando melhorias no processo mecânico e biológico, que permitam o aumento da capacidade nominal, para além do potencial de recuperação de embalagens;
- Implementar processos de melhoria na estação de triagem automatizada por forma a dar resposta ao aumento dos quantitativos a recolher seletivamente e à afinação dos quantitativos a separar no Tratamento Mecânico e Biológico, melhorando a qualidade do material processado;

- Garantir a qualificação dos recursos humanos da *Suldouro* para fazer face às alterações previstas no presente plano;
- Promover campanhas de comunicação para sensibilização da população, nomeadamente alertar para a importância da separação dos resíduos.

Focando estes objetivos da empresa, foi estudado um tipo específico de RUB, os dejetos dos animais domésticos, nomeadamente dos gatos, que habitam dentro das localidades de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira, que também são produtores dos resíduos biodegradáveis. Este tipo de resíduo (areia do caixote) após a sua utilização vai diretamente para o contentor dos resíduos não indiferenciados.

Uma vez que os gatos residentes em habitações, fazem as suas necessidades nas caixas de areia, os seus donos vêm-se forçados a depositar as fezes juntamente com a própria areia diretamente nos caixotes, como lixo não identificado. Já o caso dos cães é diferente uma vez que maioritariamente os donos levam-nos ao exterior para estes fazerem as suas necessidades, ficando as fezes quase na totalidade das vezes nos passeios e relvados, ou (raramente) são apanhados pelos donos e deitados nos caixotes do lixo exteriores mais próximos.

O grau de dificuldade para analisar a situação dos cães seria muito mais elevado, uma vez que dificilmente se conseguiria uma estimativa próxima da realidade tendo em conta a situação supracitada.

#### **4.1. Estudo da quantidade de animais de estimação**

Um estudo realizado em 2015 pela GfK Track.2Pets veio provar que os novos estilos de vida têm provocado um aumento do número de animais nas habitações. O estudo foi realizado para responder à questão da quantidade de animais de estimação em Portugal, e teve por base uma amostra de 1250 entrevistas presenciais. No entanto, este estudo não incluiu os animais de companhia que habitam no exterior (por exemplo no quintal ou no jardim) mas apenas os animais que habitam juntamente com as famílias nas habitações.

Aponta-se que em cada uma de cerca de dois milhões de habitações no nosso país, existe pelo menos um animal de estimação. Desde 2011 que este número tem aumentado a cada ano que passa, estimando-se em média um crescimento de 5% ao ano. No entanto esta tendência não se verifica apenas em Portugal, sendo comum em vários países da Europa,

como França, Itália, Rússia, Alemanha e Inglaterra. A razão principal para o aumento da presença dos animais de estimação nestes países deve-se ao facto de as pessoas constatarem que os animais contribuem para o seu bem-estar, quer a nível físico quer a nível psicológico.

No que toca a Portugal, a preferência dos donos recai sobre os cães. “Num total de cerca de 6,7 milhões de animais de estimação no nosso país, 38% são cães, seguindo-se os gatos (20%), os pássaros (9%), os peixes e outros (4%)”. Hoje em dia em Portugal verificou-se a existência de mais cães e gatos do que crianças, “Os animais estão cada vez mais a serem tratados como membros da família e muitas vezes até como pessoas. As pessoas cada vez mais atribuem aos animais sentimentos e características dos seres humanos e muitas vezes são tratados como filhos”, defende o estudo [45].

No entanto uma vez que o Decreto-Lei n.º 313/2003 de 17 de dezembro apenas estabelece a obrigatoriedade de identificação dos cães via eletrónica ficando a identificação dos gatos como voluntária e a critério pessoal, é de extrema dificuldade identificar o número real de gatos existente uma vez que a maioria esmagadora dos seus proprietários não os identifica. Assim, os números apresentados no estudo, em relação aos gatos, refletem apenas os que estão identificados [45].

#### **4.2. Estudo da quantidade de animais de estimação em Vila Nova de Gaia e Santa Maria de Feira**

Como já foi referido no capítulo anterior a quantidade de habitantes que estão a habitar dentro dos municípios na totalidade é 441429. O objetivo inicial é saber a quantidade dos gatos que vivem dentro das habitações com seus donos. Encontrar os dados de quantidade dos gatos foi uma parte mais difícil deste projeto, para conseguir os dados foram feitas as seguintes etapas: enviando emails para várias entidades (centros que estão interligados entre si):

- Ordem dos Médicos Veterinário do Norte (OMVN);
- Sistema de identificação e Recuperação Animal (SIRA);
- Direção Geral de Alimentação e Veterinária (DSPA);
- Sindicato dos Médicos Veterinários (SNMV);
- Divisão de Bem-Estar Animal (DBEA);
- Divisão de Identificação Registo e Movimentação Animal (DIRMA);

- Associação dos Amigos dos Animais do Porto (AAA);
- Sistema de informação do Plano de Aprovação e Controlo dos Estabelecimento (SIPACE)

Em todos os emails recebidos, as respostas obtidas foram idênticas à seguinte: *“Na sequência da sua solicitação, informamos que não nos é possível facultar a informação pretendida, dado que o licenciamento de gatos não é obrigatório. Como tal, é-nos impossíveis estimar o número de gatos existente, quer na zona pretendida, quer em qualquer outra zona. Podemos, no entanto, e caso esteja interessada e nos faculte os endereços eletrónicos, fazer veicular a informação através desta Ordem para as clínicas veterinárias de Vila Nova de Gaia, dado que se situa na área de intervenção da Delegação Regional do Norte.”*

Analisando a resposta recebida iniciou-se a segunda etapa: entrada em contacto com a maioria das clinicas veterinárias dos dois municípios. A informação que foi dada é confidencial, assim será apresentada na Tabela 9.

**Tabela 9 - Resumo dos resultados do questionário efetuado a clinicas veterinárias.**

Cidade	Freguesias	Clínicas Veterinárias	Respostas em %
V.N Gaia	15	26	20
S.M de Feira	21	22	15
Total	36	48	35

Analisando os resultados, apenas 35% das clinicas veterinárias partilharam os dados. Com estes dados foi determinado um número mínimo da quantidade dos gatos que habitam juntamente com as famílias nas habitações. Assim, um em cada dez habitantes dos dois municípios tem um gato em casa. Com estes dados pode ser afirmado que na localidade de Vila Nova de Gaia e Santa Maria de Feira há  $\approx$  44000 gatos.

#### **4.3. Desempenho do sistema de tratamento de resíduos da *Suldouro* e condicionantes**

Após a observação da linha da triagem na *Suldouro*, denotei que cerca de 50% de todos os resíduos que entram na CVO é matéria orgânica com pouca qualidade, o que cria um grande desgaste nos equipamentos, o que por consequência faz com que imenso dinheiro

seja direcionado para a reparação e manutenção dos equipamentos (como por exemplo *Pulper*).

Este problema poderia ser minimizado se fosse feito investimento para melhorar o sistema de separação do lixo orgânico. Com um sistema deste género, a empresa teria de fazer um pequeno investimento inicial, mas que a longo prazo traria inúmeros benefícios, desde o menor desgaste de equipamentos, a conseguir atingir as metas que estão estabelecidas para o ano de 2020, o que consequentemente fatia com que as cidades Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira subissem no ranking das cidades sustentáveis da UE.

#### **4.4. Trabalho experimental**

Nesta secção serão apresentados os procedimentos e resultados obtidos na etapa experimental deste trabalho, nomeadamente: 1) a caracterização das amostras de resíduo do digestor anaeróbio da *Suldouro* e dos dejetos de gato; 2) a descrição dos ensaios de digestão anaeróbia realizados.

##### **4.4.1. Caracterização dos resíduos a usar no estudo**

Ao longo do tempo da escrita da dissertação foram feitos vários estudos dos hábitos de um gato que vive numa habitação. Estes dados estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Resumo dos dados obtidos ao longo da observação**

Gato (un)	Peso do gato (kg)	Quantidade de excrementos por mês (kg)	Quantidade de areia do caixote utilizada por mês (kg)
1	4,100	1	10*

\* Nota: A quantidade 10 kg de areia mais barata e vendida no mercado.

**Os gatos são animais carnívoros que necessitam de boa quantidade de proteínas e gorduras (carnes, peixe, aves, vegetais, soja). Precisam também de hidratos de carbono, sais minerais e vitaminas. Na**

Tabela 11 estão apresentados um resumo dos nutrientes na comida seca e húmida que atualmente esta a ser mais utilizada no mercado da alimentação dos gatos.

**Tabela 11 - Valores nutricionais da comida dos gatos**

Tipos de comida	Proteínas %	Matéria gorda bruta %	Fibra bruta %	Minerais e Vitaminas %	Humidade
Seca	34	14	2,0	7	10
Húmida	11	4,5	2,7	5	82,5

Este tipo de estudo de caracterização da matéria orgânica, dejetos do gato, foi feito pela primeira vez nos laboratórios do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Foram montados três reatores de digestão anaeróbia e feitas análises que apresentam a quantidade de Carbono e Azoto nas várias amostras. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 12 a Tabela 14.

**Tabela 12 - Teor de humidade das amostras**

Amostra	Peso da amostra húmida (g)	Peso da amostra seca (g)	Diferença de humidade (g)	% Humidade
Suldouro	0,2952	0,2686	0,0266	
Excremento do gato	0,0806	0,0405	0,0401	

*\*Nota: temperatura da estufa 105 °C*

**Tabela 13 - Percentagem de carbono obtido**

Amostra	Peso da amostra seca (g)	Massa de carbono total (mg)	Percentagem de Carbono (%)*
Suldouro	0,0414	25,30	61,1
Excremento do gato	0,0554	43,54	78,6

*\*Nota: Percentagem(m/m) em base seca*

**Tabela 14 - Teor de azoto obtido**

Amostra	Peso da amostra húmida (g)	Volume de HCl (mL)	Percentagem de Azoto (%)
Suldouro	0,0595	25,10	2,78
Excremento do gato	0,0687	47,05	5,01

*\*Nota: Concentração de HCl = 0,00580 mol/L*

**Tabela 15- Teor de Sólidos Totais e Sólidos Voláteis**

Amostra	Sólidos Totais (%)	Sólidos Voláteis (%)
Suldouro	5,92	60,42
Excremento do gato	1,13	65,49

*\*Nota. Na tabela foram apresentados os dados em base seca*

Pelo que se conclui que a razão Carbono: Azoto (C/N) para estes resíduos vale 22:1 e 15,7:1, para o resíduo da *Suldouro* e para os dejetos de gato, respetivamente.

#### **4.4.2. Estudos no laboratório**

As exigências nutricionais dos microrganismos metanogénicos variam do simples ao complexo. No que diz respeito à assimilação do carbono, alguns metanogénicos são autotróficos (metabolizadores de carbono inorgânico como fonte de carbono), alguns são heterotróficos (metabolizadores de carbono orgânico como fonte de carbono), e outros mixotróficos (metabolizadores orgânicos e inorgânicos). Em habitats naturais, as bactérias metanogénicas dependem fortemente de outras bactérias para fornecer os nutrientes essenciais tal como minerais, vitaminas, acetato, aminoácidos ou outros fatores do crescimento.

Para além do carbono orgânico como fonte de energia, as bactérias anaeróbias têm necessidades simples de nutrientes, incluindo azoto, fósforo, magnésio, sódio, cálcio e cobalto. Os níveis de nutrientes devem exceder as concentrações ótimas, que são necessárias às bactérias metanogénicas, atendendo a que estas sofrem uma maior inibição com as deficiências de nutrientes.

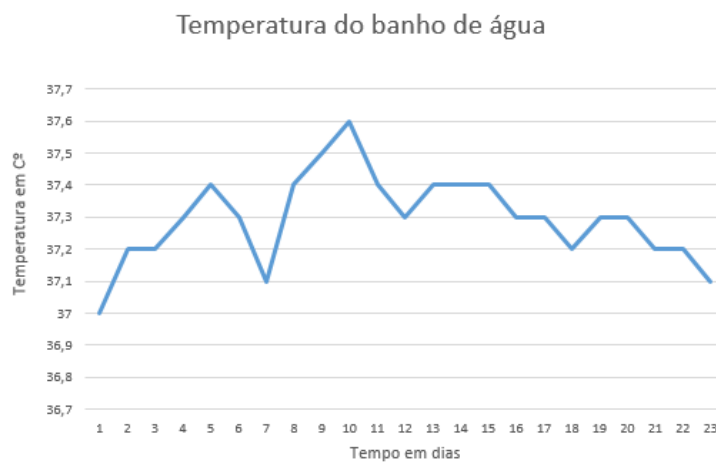
As bactérias necessitam de uma razão carbono/azoto, adequada ao seu processo metabólico. Razões de C/N superiores a 30:1, consideram-se inapropriadas a uma digestão ótima; razões inferiores a 10:1 mostraram-se inibidoras, nos estudos de digestão anaeróbia termófila de resíduos de aves, de vaca e misturas de papéis ou outros materiais celulósicos.

Foram realizadas 3 montagens experimentais distintas, correspondentes a outros tantos ensaios experimentais para digestão anaeróbia de resíduos contendo dejetos de gato.

- **Reator 1**

O reator (representado esquematicamente na Figura 26) iniciou o seu funcionamento no dia 8 de maio de 2016 com uma mistura de biomassa, constituída por massa líquida do digestor da *Suldouro* (1,920 L) e 698 g de excremento do gato. As duas biomassas foram misturadas de forma a formar uma pasta homogénea.

Durante um período de 22 dias foi realizado um registo da temperatura e do nível do pH da biomassa no reator (1), os dados obtidos estão representados nas Figura 23 a Figura 25. Nos 22 dias de trabalho o reator produziu 2,100 L de biogás.

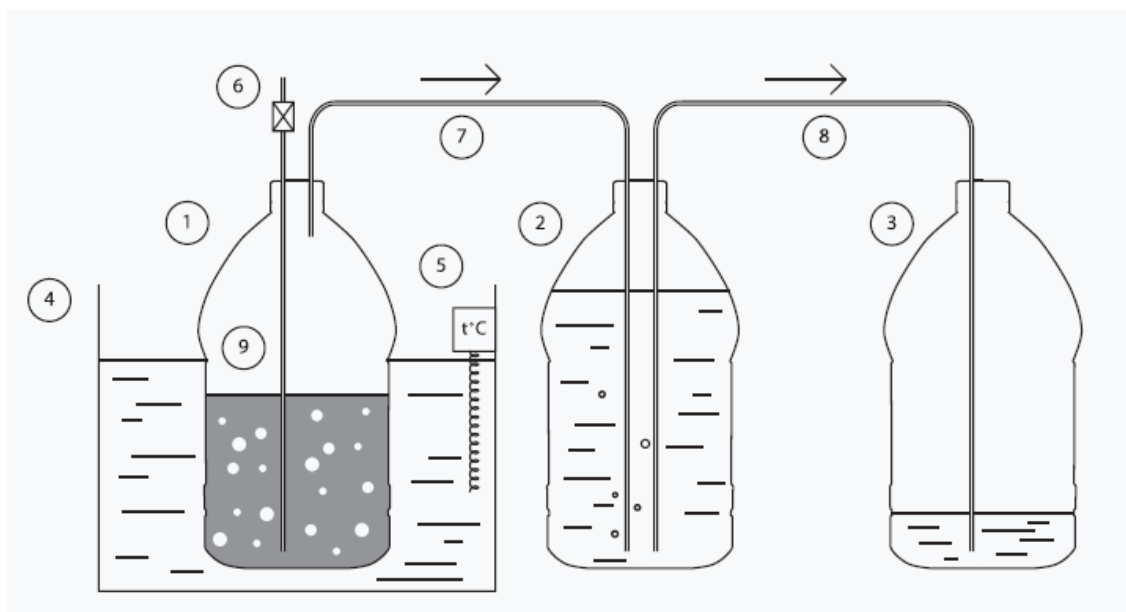


**Figura 23 - Gráfico da evolução da temperatura ao longo do tempo no reator (1)** Erro! A origem da referência não foi encontrada.

**Figura 24 - Gráfico da evolução do pH ao longo do tempo no reator (1)**



**Figura 25 - Gráfico da evolução da produção de biogás ao longo do tempo no reator (1)**



**Figura 26 – Esquema do reator montado no laboratório**

**Legenda da Figura 26:**

- 1 Reservatório com biomassa
- 2 Reservatório com efeito do sifão
- 3 Reservatório para água
- 4 Banho de água com temperatura controlada
- 5 Termóstato
- 6 Tubo para retirar amostras
- 7 Conduta de biogás
- 8 Conduta de água
- 9 Biomassa



**Figura 27 – Imagem do depósito de biogás real com o volume final do biogás produzido**

A experiência com o Reator 1, proporcionou muito bom resultado, uma vez que apresentou um arranque do sistema rápido, ao longo do processo o pH manteve-se estável e foi obtida a produção de biogás esperada. No início do ensaio o principal objetivo era o de conseguir

balançar as necessidades de bactérias com a mistura da matéria orgânica (*Suldouro* e excremento de gato) para obter a razão carbono/azoto adequada ao processo metabólico.

- **Reatores 2 e 3**

Para clarificar os resultados do primeiro ensaio e demonstrar que estes dois tipos de matéria orgânica funcionam bem em conjunto, foram instalados mais dois reatores, que funcionavam cada um com as matérias orgânicas em separado: Reator 2 com matéria residual do digestor da *Suldouro* e Reator 3 com matéria orgânica de excremento de gato (Figura 28).



**Figura 28 – Início do arranque dos reatores 2 e 3 com melhoria do sistema**

A longo do tempo de funcionamento foram colhidos os dados de operação, como a temperatura, o pH e a produção de biogás que estão apresentados na Figura 29 a Figura 31.

- Reator 2 -matéria orgânica (da *Sulduoro* que entra no processo) 750 ml
- Reator 3 – matéria orgânica (dejetos de gato e a matéria orgânica da *Suldouro* que já estava no processo com tampão, 300 ml + 350 ml = 650 ml) + 20 ml de solução tampão

A temperatura foi controlada num banho agitado termostaticado. A agitação ajudou a massa dentro dos reatores a não sedimentar.

O controlo da estabilidade do pH foi o processo mais complicado com o reator 3. Nos primeiros dias de funcionamento, os resultados foram melhores que no reator 2, mas

passado alguns dias o processo parou. Este efeito foi provocado pelo baixar do pH até ao valor 6. Para resolver esta situação foi feito um tampão com a proporção (foram introduzidos 20,0 ml que respondem a 19,16 g de uma solução diluída de tampão de fosfato na proporção 1:1, isto é, de solução de tampão fosfato ( $8.5 \times 10^{-2}$  g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 10 mg de água desionizada), que ajudou a manter o pH, mas só por mais uns dias. Na segunda semana o processo voltou a ficar com o valor de pH baixo. Para resolver este problema foi consultada a bibliografia.

Como a instalação do reator permitia alimentar biomassa nova, decidiu-se adicionar a massa residual da *Suldoouro*, que ajudou a resolver a problema com o pH, uma vez que ela própria tem efeito tampão. Deste modo conseguiu-se ter o processo estável até ao fim do funcionamento, estes dados estão apresentados na Figura 29 a Figura 31.

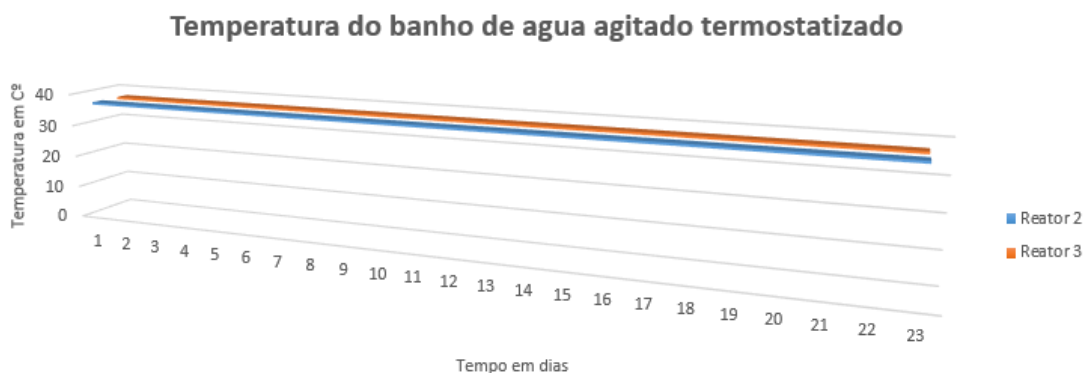


Figura 29 – Temperatura do banho de água agitado termostaticado em função do tempo

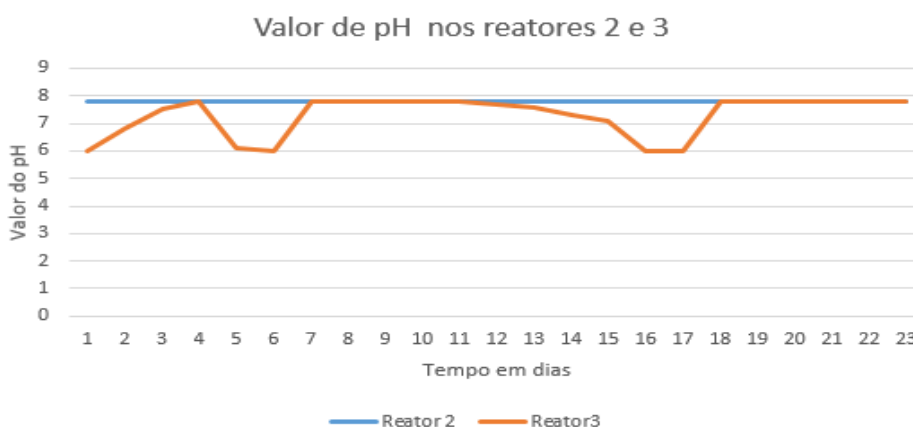
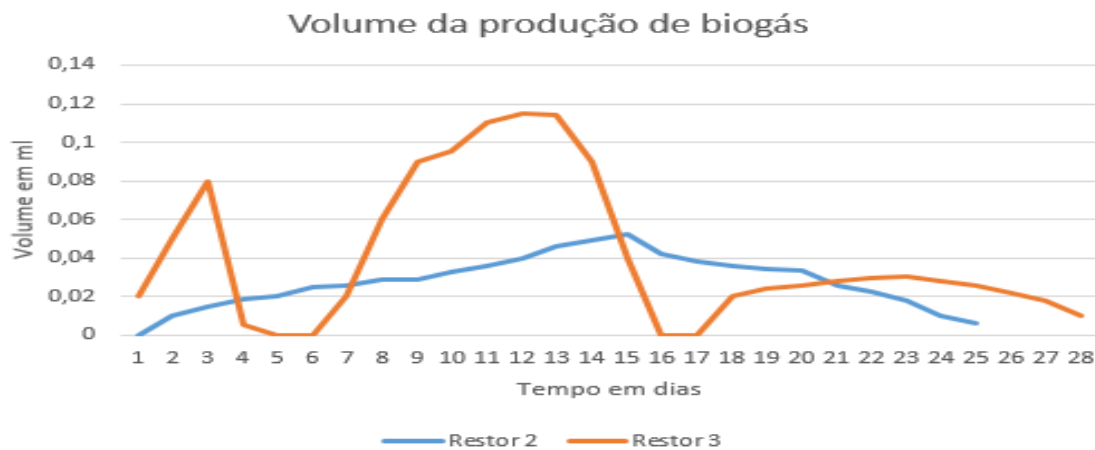


Figura 30 – Valor de pH nos reatores 2 e 3 em função do tempo

Ao longo do período do ensaio de 23 dias, o reator 2 produziu 0,694 L de biogás. O reator 3 produziu, ao longo do período de 28 dias de ensaio, 0,725 L de biogás. Isto significa que

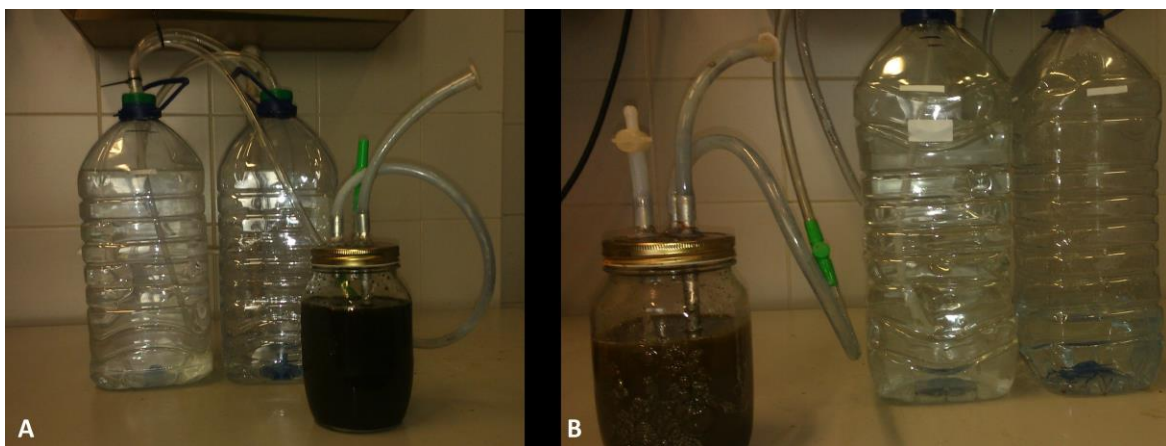
a adição de dejetos animais potenciou a produção de biogás, uma vez que a produtividade de biogás aumentou de  $0,925 \text{ m}^3 / \text{m}^3$  de matéria orgânica (Suldouro) para  $1,115 \text{ m}^3 / \text{m}^3$  de matéria orgânica (mistura 45% dejetos gato + 55% resíduo da Suldouro).

A produção de biogás a partir do estrume da agropecuária inclui o estrume propriamente dito e a sua mistura com palha e a própria alimentação destes animais, pelo que é completamente diferente do excremento dos gatos, uma vez que a primeira inclui vegetais.



**Figura 31 – Valor de volume de biogás produzido nos reatores 2 e 3**

O reator 2 não apresentou problemas com o pH, mas a produção de biogás no final foi maior do que no reator 3, como pode ser observado na Figura 32.



**Figura 32 – Imagem real dos reatores 2 (A) e 3 (B) com o volume final do biogás produzido**

Depois da comparação dos resultados obtidos no Laboratório de Tecnologia do ISEP com os estudos realizados na Alasca [46] e na Bélgica, na cidade de Schendelbeke, [47] no campo da compostagem aeróbia de misturas de matéria orgânica doméstica e excrementos

dos animais de estimação, concluiu-se que os resultados obtidos em laboratório foram semelhantes, tanto nos estudos referidos como na experiência descrita nesta dissertação. Pode-se observar que já se efetuou uma semelhante operação com sucesso no estrangeiro sendo a única diferença o destino da matéria orgânica recolhida. No estrangeiro a matéria orgânica é usada para fins de compostagem por processo aeróbio enquanto que este projeto foi especificamente adaptado às instalações da *Suldouro* para a produção de biogás pelo processo anaeróbio. Assim pode-se afirmar que a matéria orgânica biodegradável dos dejetos dos gatos tem potencial aproveitamento como mais uma matéria-prima valorizável.



## 5. Conclusões

Os cidadãos estão informados sobre a importância de separação dos resíduos nos ecopontos, para posterior reciclagem. Não é novidade que a borra de café e óleo utilizados podem ser aproveitados com matéria-prima na produção de composto e biodiesel, respetivamente. Os projetos de recolha das tampas da embalagem de plástico e rolhas de garrafas do vinho já fazem parte dos hábitos de separação dos cidadãos. O mesmo acontece com a separação de embalagens plásticas e metálicas e do vidro de embalagem.

No início da realização desta dissertação enfrentou-se o problema da novidade do estudo proposto sobre o aproveitamento do potencial bioenergético de dejetos dos animais de estimação como matéria-prima alternativa/complementar na digestão anaeróbia.

Foram realizados inquéritos no âmbito desta dissertação. Em 100 pessoas, 90 responderam afirmativamente estar dispostas a reciclar as areias utilizadas pelos gatos, no entanto a primeira questão que colocaram após responderem ao inquérito foi onde poderiam fazer isso, uma vez que não existem locais próprios para este tipo de resíduos. Para os resíduos orgânicos (onde podem e devem ser incluídas areias e excrementos de animais) não têm que, obrigatoriamente, ser criados e distribuídos novos contentores, bastava criar sacos com uma cor específica que não fosse ainda utilizada (cor-de-laranja fluorescente) para que os mesmos possam ser identificados na triagem e postos no respetivo contentor. Para a

implementação desta estratégia não são necessários muitos recursos, no entanto, a vantagem para a empresa superaria as expectativas.

Os resultados deste inquérito confirmaram o interesse da realização do trabalho experimental de avaliação do potencial bioenergético deste tipo de resíduo.

A realização do estudo de desenvolvimento experimental nos laboratórios do Instituto Superior de Engenharia do Porto constituiu um desafio. Foram construídos 7 sistemas de digestão anaeróbia, dos quais apenas 3 permitiram obter resultados interessantes. Estes sistemas incluíam o digestor anaeróbio e o sistema de recolha do biogás.

Durante todo o estudo houve muita dificuldade no arranque dos biodigestores com as matérias separadas, tendo o problema sido maior quando se usou apenas dejetos dos gatos. Estes problemas no arranque motivaram a alteração sucessiva da configuração dos biodigestores, e do processo de controlo de pH.

Apesar das dificuldades sentidas ao longo da realização da parte experimental deste trabalho, foi possível concluir que a adição de dejetos de gato numa proporção de 45% do total de matéria orgânica, potencia a produção de biogás, aumentando o potencial bioenergético de cerca de 0,925 para 1,115 m<sup>3</sup> biogás/ m<sup>3</sup> matéria orgânica. No entanto, esta adição de dejetos animais exige a adição de alcalinidade para permitir um melhor controlo do pH.

Os projetos piloto apresentados no capítulo 3 foram referenciados a título de exemplo de projetos que foram alvo de um grande investimento, mas que infelizmente não atingiram o sucesso esperado, o que permite questionar se não seria melhor redirecionar os investimentos para um projeto inovador que, após o estudo aqui apresentado, se perspetiva que será de sucesso.

Face aos resultados obtidos neste trabalho, sugere-se que a empresa poderia apostar num projeto piloto deste género (no que toca a resíduos orgânicos biodegradáveis), criando alternativas para que as pessoas que querem separar a matéria orgânica e deitá-la nos locais apropriados o possam fazer.

O acolhimento do projeto aqui proposto pelos donos de gatos teve sucesso uma vez que a comunicação foi feita no sentido de entreatjada, se uns ajudam terão algo em troca. A questão das areias e dos excrementos dos animais terá sucesso se for feita a comunicação

do projeto no mesmo sentido. Para além dos donos dos animais, um grande contributo com areias e excrementos pode ser feito por parte de associações de animais. Essa contribuição podia ter como contrapartida uma remuneração (ou a redução dos custos de recolha). Esta entreajuda seria um enorme incentivo principalmente para as associações uma vez que, na sua maioria, elas carecem de recursos financeiros.

Os produtores das areias também deveriam ser aliados a um projeto deste género uma vez que o seu produto também deve ser convenientemente reciclado. Se se optasse (como já foi anteriormente referido) por sacos de cor diferente para estes resíduos, uma estratégia de sucesso seria, os próprios produtores incluírem os sacos biodegradáveis nas embalagens das areias.

Este projeto poderá ser alvo de um enorme sucesso pois podem ser feitas parcerias a vários níveis. No entanto após apresentar esta ideia, a mesma foi rejeitada por parte da empresa, tendo como argumento principal o desinteresse das pessoas em separar os resíduos orgânicos (ou mesmo a separação geral dos resíduos). No entanto, tal vai ao encontro da informação recolhida com os inquéritos aos donos dos animais, realizado no âmbito desta dissertação. A esmagadora maioria das pessoas que têm animais em casa tem todo o interesse em separar os resíduos produzidos pelos seus animais, desde que tenham um sítio próprio onde os possam depositar.

Apesar disso, o problema com a separação e reutilização dos resíduos orgânicos é atual e preocupante, decorrendo das obrigações a que Portugal se comprometeu pelo facto de estar integrado na Comunidade Europeia. Uma vez que tem de se ter uma visão a longo prazo, devem ser procuradas soluções para um maior rendimento e aproveitamento de todos os resíduos que vão parar aos contentores e/ou aterros sanitários. Tem de se aprender a transformar e tirar proveito dos recursos de que se dispõe, para que se consiga atingir um crescimento e desenvolvimento sustentável, sem por em causa o ambiente.



## *Referências Documentais*

- [1] Владимир Сидорович Мироя Энергетическая революция (paginas 10-45).  
<http://www.forbes.ru/mneniya/konkurenciya/295441-mirovaya-energeticheskaya-revolyuetsiya-zhizn-posle-nefti>
- [2] [https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_pt](https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt)
- [3] <http://kids.pplware.sapo.pt/curiosidades/dinamarca-gerou-140-de-electricidade-vinda-da-energia-eolica/>
- [4] <http://www.enerdura.pt/index.php/noticias/11-noticias/118-renovaveis-obrigam-alemanha-a-pagar-aos-consumidores-de-electricidade>
- [5] <http://josemanuelfernandes.eu/texts/view/uniao-da-energia>
- [6] <http://www.apren.pt/pt/dadostecnicos/index.php?id=847&cat=846>
- [7] <http://observador.pt/2016/05/18/portugal-usou- apenas-energias-renovaveis-durante-quatro-dias-consecutivos/>
- [8] <http://centro.portugal2020.pt/index.php/teste>
- [9] [https://www2.isep.ipp.pt/ccem/uploads/APREN\\_ISEP\\_CicloConf\\_Eng\\_Moviment\\_o22Jan\\_2015.pdf](https://www2.isep.ipp.pt/ccem/uploads/APREN_ISEP_CicloConf_Eng_Moviment_o22Jan_2015.pdf)
- [10] <https://poseur.portugal2020.pt/Content/docs/Poseur/PNAEE.pdf>
- [11] [www.fotosdeanimais.org](http://www.fotosdeanimais.org)
- [12] <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/pt.pdf>
- [13] [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020\\_Fev14\\_v2.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020_Fev14_v2.pdf)
- [14] <https://www.publico.pt/sociedade/noticia/portugal-acaba-hoje-com-lixeiros-a-ceu-aberto-60806>
- [15] <https://poseur.portugal2020.pt/Content/docs/Poseur/PERSU.pdf>
- [16] [http://apambiente.pt/\\_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020\\_Fev14\\_v2.pdf](http://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020_Fev14_v2.pdf)
- [17] RERERENCIA 9as Jornadas Técnicas Internacionais Viana do Castelo – Portugal (14-16 setembro 2015)

- [18] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=260>
- [19] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=934>
- [20] <http://naturlink.pt/article.aspx?menuid=6&cid=91622&bl=1&viewall=true>
- [21] <http://countrymeters.info/pt/Portugal>
- [22] <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>
- [23] [https://apambiente.pt/\\_cms/view/page\\_doc.php?id=1350](https://apambiente.pt/_cms/view/page_doc.php?id=1350)
- [24] <http://www.aquafluxus.com.br/para-onde-vai-esse-lixo-todo/>
- [25] [http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT\\_Summary\\_Report\\_Final.pdf](http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT_Summary_Report_Final.pdf)
- [26] <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20acesso%20remoto/Opcoes%20de%20gestao%20de%20residuos%20urbanos.pdf>
- [27] [http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/221037/pb13887-advanced-biological-treatment-waste.pdf](http://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221037/pb13887-advanced-biological-treatment-waste.pdf)
- [28] [http://www.rcc.gov.pt/SiteCollectionDocuments/ManualAutarca\\_LIPOR.pdf](http://www.rcc.gov.pt/SiteCollectionDocuments/ManualAutarca_LIPOR.pdf)
- [29] Nelson Miguel Guerreiro Lourenço (2014) “Manual de Vermicompostagem e vermicultura para a agricultura orgânica” (paginas: 21-36, 51-94, 121-140).
- [30] Botheju, D., & Bakke, R. (2011). Oxygen Effects in Anaerobic Digestion – A Review. *The Open Waste Management Journal*, (4), (paginas 1–19).
- [31] DEFRA (UK). (2013a). *Advanced Biological Treatment of Municipal Solid Waste*.
- [32] DEFRA (UK). (2013b). *Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste*.
- [33] Müller, W. (2009). *Mechanical Biological Treatment and its role in Europe*.
- [34] Fukuzaki, S., Nishio, N., Shobayashi, M., Nagai, S. (1990). “Inhibition of the fermentation of propionate to methane by hydrogen, acetate and propionate.” *Appl Environ. Microbiol.*, 56, (paginas 719-723).
- [35] GRADY, C.P.L.JR., LIM, H.C. (1999) *Biological Waste Treatment*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- [36] Parkin, G. F., Owen, W.F. (1986). “Fundamental of Anaerobic Digestion of Wastewater Sludges.” *J. Environ. Eng. Div. ASCE*, 112 (paginas 867-919).

- [37] Lettinga, G., Hulshoff-Pol, L., ZEEMAN, G. (1997) Biological Wastewater Treatment. Part1: Anaerobic Wastewater Treatment. Wageningen University. Sub-department of Environmental Technology. Makkonen, O.H.P. (1953). "Sand filter for use with septic tank". Design and Operation of Septic Tanks, WHO Monograph series, 18 (pages 107-109).
- [38] Van Eekert, M.H.A., Veiga, M.C., Field, J.A., Stams, A.J.M., Schraa, G. (1995). "Removal of tetrachloromethane by granular methanogenic sludge". In: Bioremediation of Chlorinated Solvents (R.E. Hinchee, A. Leeson, S. Semprini, eds.), Battelle Press, Columbus, Ohio, USA, (pages 139-144).
- [39] Kiener, A., Leisinger, T. (1983). "Oxygen sensitivity of methanogenic bacteria". Syst. Appl. Microbiol., 4 (pages 305-312).
- [40] Kato, M. (1994) The anaerobic treatment of low strength soluble wastewaters. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- [41] ] Lettinga, G., Hulshoff-Pol, L., ZEEMAN, G. (1997) Biological Wastewater Treatment. Part1: Anaerobic Wastewater Treatment. Wageningen University. Sub-department of Environmental Technology. Makkonen, O.H.P. (1953). "Sand filter for use with septic tank". Design and Operation of Septic Tanks, WHO Monograph series, 18 (pages 107-109).
- [42] <http://www.suldouro.pt/wp-content/uploads/2015/07/PAPERSU-2020-Suldouro-29abr.pdf>.
- [43] SUMA. (2016). caracterização de resíduos urbanos do sistema multimunicipal do Suldouro (2016).
- [44] Manual de Operação e Manutenção da Central de Valorização Orgânica Suldouro.
- [45] <http://www.veterinaria-atual.pt/portugal-tem-67-milhoes-de-animais-de-estimacao/>
- [46] <http://www.the-compost-gardener.com/composting-pet-waste.html#guide>
- [47] <http://www.greencat.it/site/wp-content/uploads/2011/10/vincotte-analysis.pdf>



## Anexo A. Infraestruturas existentes em Portugal Continental

(Agência Portuguesa do Ambiente, 2015a)

SGRU	Aterro	TM	TMB	CVO	INC	CDR	T	ET	EC	EP	H/E
<b>Valorminho</b>	1	-	-	-	-	-	1	1	2	424	178
<b>Resulima</b>	1	-	-	-	-	-	1	1	2	962	330
<b>Braval</b>	1	-	-	-	-	-	1	1	2	1167	248
<b>Resinorte</b>	5	1	1	-	-	-	4	8	17	3657	256
<b>Lipor</b>	1	-	-	1	1	-	1	-	19	3680	262
<b>Ambisousa</b>	2	-	-	-	-	-	2	2	8	1000	336
<b>Suldouro</b>	1	-	1	-	-	-	1	-	4	1784	253
Resíduos do Nordeste	1	-	1	-	-	-	-	4	14	616	223
<b>Valorlis</b>	1	-	1	-	-	-	1	3	4	1109	274
<b>Ersuc</b>	2	-	2	-	-	2	2	7	7	3687	252
Ecobeirão	1	1	-	-	-	-	1	3	19	1524	223
<b>Resistrela</b>	1	-	1	-	-	-	1	7	14	964	201
<b>Valorsul</b>	2	-	-	1	1	-	2	6	8	5620	282
Ecoleziria	1	-	-	-	-	-	-	3	4	462	273
Resitejo	1	1	-	-	-	-	1	7	8	1515	134
Tratolixo	-	1	1	-	-	-	1	1	2	3548	238
<b>Amarsul</b>	2	1	2	-	-	1	1	1	7	2662	294
Gesamb	1	-	1	-	-	-	1	4	7	676	221
Ambital	1	-	1	-	-	-	1	5	7	874	130
Amcal	1	-	-	-	-	-	1	3	5	128	194
<b>Valnor</b>	2	-	1	-	-	1	1	8	14	2068	126
Resialentejo	1	-	1	-	-	-	-	5	5	470	197
<b>Algar</b>	2	1	-	3	-	-	2	7	14	2860	155

*A negrito encontram-se destacados os serviços multimunicipais*

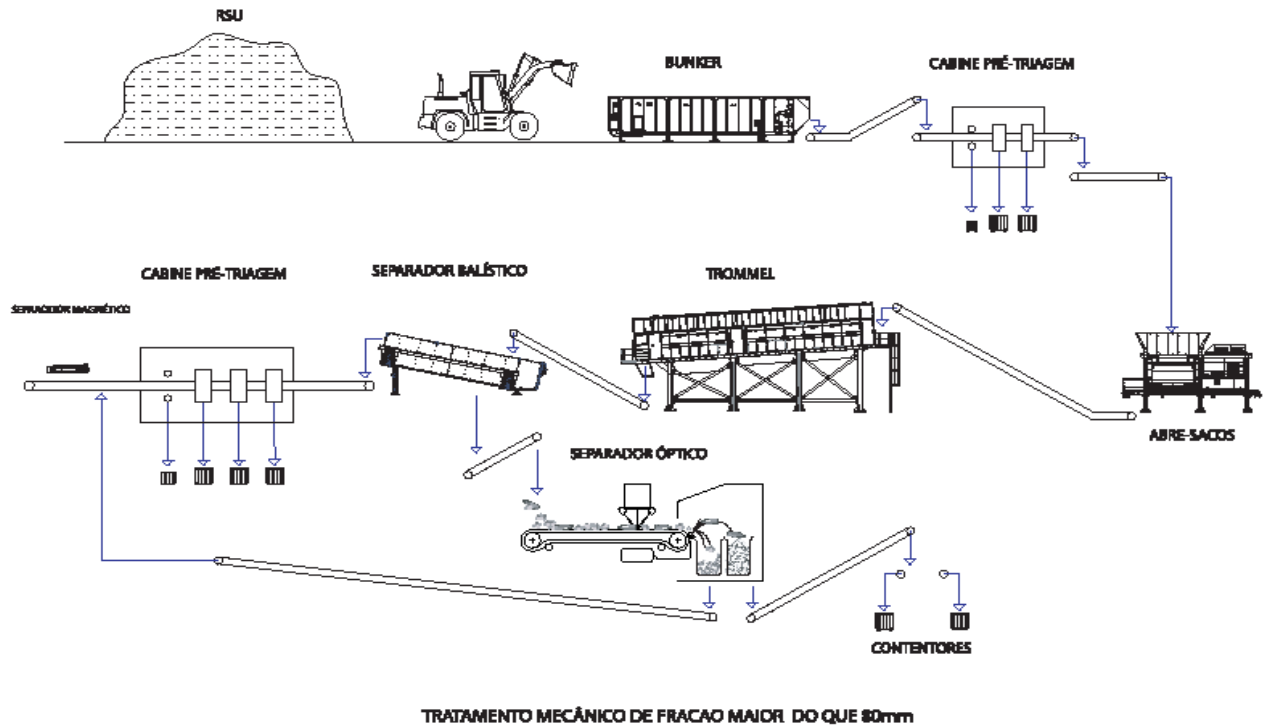


## Anexo B. Composição física média nos RU recolhidos indiferenciadamente para TMB

Categoria	Sub-categoria	Composição	Total
Bio-resíduos	Resíduos Alimentares	30,34%	43,53%
	Resíduos de Jardim	13,19%	
	Outros resíduos putrescíveis	0,00%	
Papel/Cartão	Resíduos de embalagens de papel/cartão	4,54%	7,95%
	Jornais e Revistas	3,20%	
	Outros resíduos de papel/cartão	0,21%	
Plásticos	Resíduos de embalagens em filme de PE	2,62%	8,62%
	Resíduos de embalagens rígidas em PET	0,78%	
	Resíduos de embalagens rígidas em PEAD	0,35%	
	Resíduos de embalagens rígidas em EPS	0,00%	
	Outros resíduos de embalagens de plástico	2,11%	
	Outros resíduos de plástico	2,76%	
Vidro	Resíduos de embalagens de vidro	4,43%	4,55%
	Outros resíduos de vidro	0,12%	
Compósitos	Resíduos de ECAL	0,82%	6,66%
	Outros resíduos de embalagens compósitas	0,65%	
	Pequenos aparelhos eletrodomésticos	0,78%	
	Outros resíduos compósitos	4,41%	
Têxteis	Resíduos de embalagens têxteis	0,49%	3,49%
	Outros resíduos têxteis	3,00%	
Têxteis Sanitários			7,34%
Metais	Resíduos de embalagens ferrosas	0,48%	0,85%
	Resíduos de embalagens não ferrosas	0,31%	
	Outros resíduos ferrosos	0,05%	
	Outros resíduos metálicos	0,00%	
Madeira	Resíduos de embalagens de madeira	0,04%	0,34%
	Outros resíduos de madeira	0,30%	
Resíduos Perigosos	Produtos químicos	0,00%	0,03%
	Tubos fluorescentes e lâmpadas de baixo consumo	0,03%	
	Pilhas e acumuladores	0,00%	
	Outros resíduos perigosos	0,00%	
Outros	Outros resíduos de embalagens	0,00%	1,40%
	Outros resíduos de não embalagem	1,40%	
Finos (<20mm)			15,25%

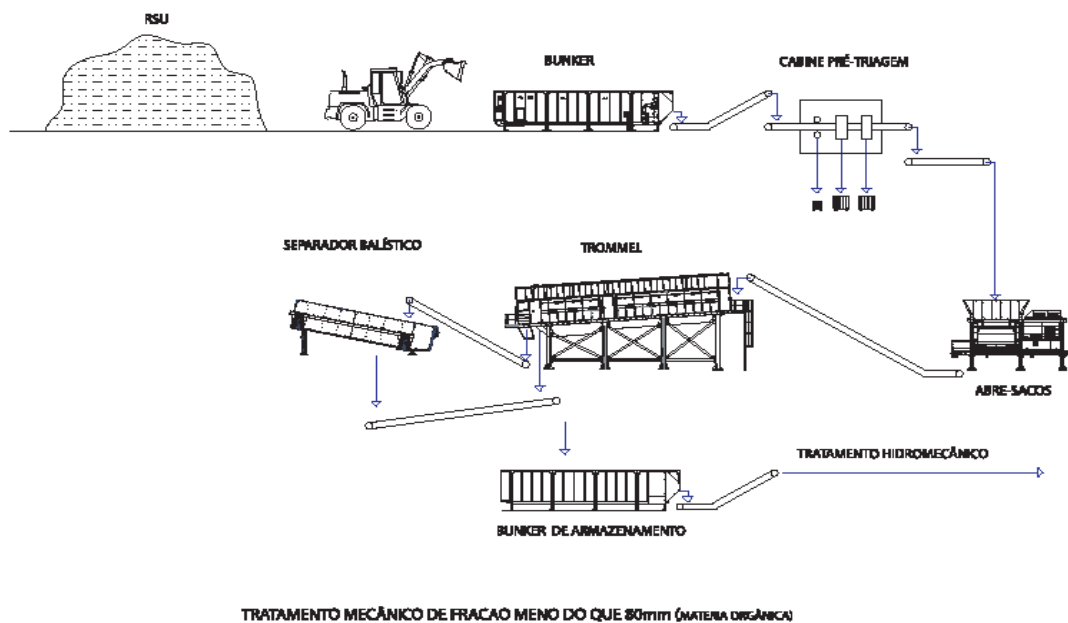


## Anexo C. Tratamento mecânico de fração maior do que 80 mm



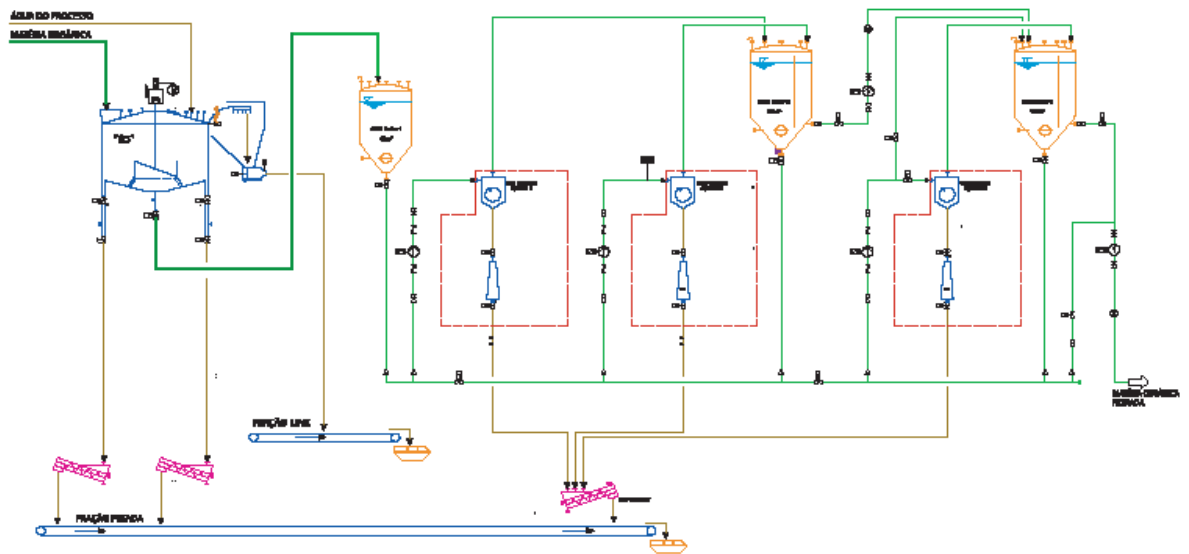


## Anexo D. Tratamento mecânico de fração menor do que 80 mm





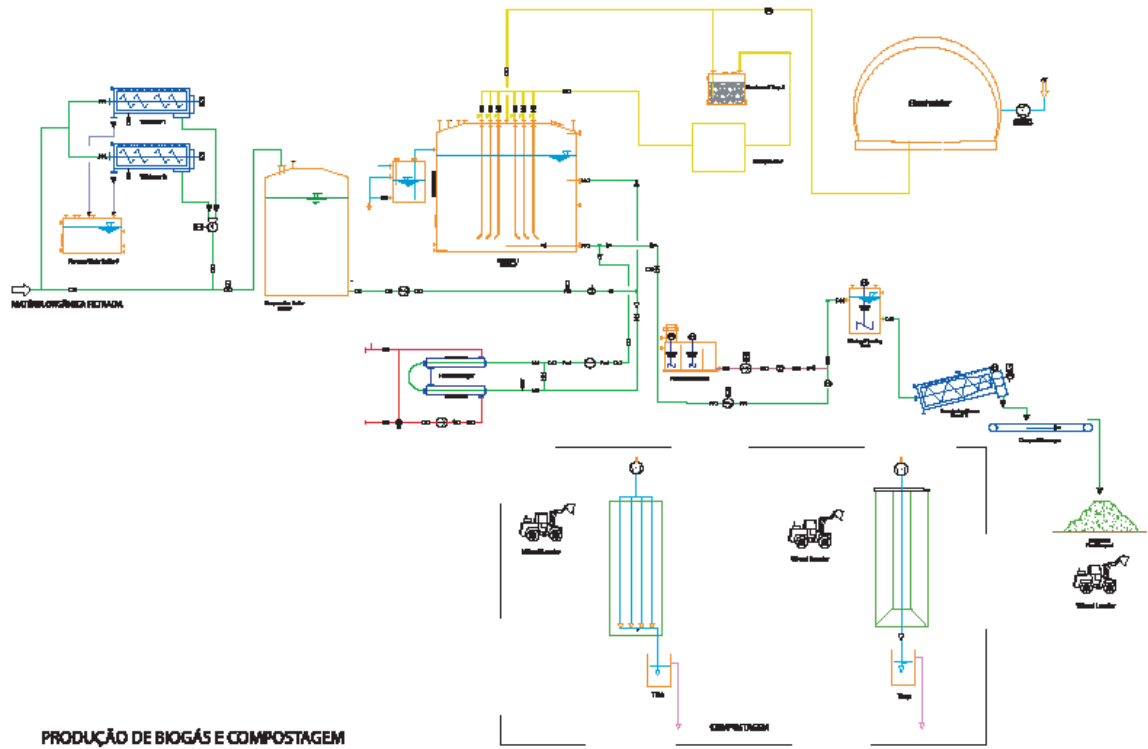
# Anexo E. Tratamento hidromecânico



TRATAMENTO HIDROMECÂNICO



## Anexo F. Produção de biogás e compostagem





## Anexo G. Exemplo de cálculo:

### *Determinação do teor de azoto total*

$$N(\text{final}) = \frac{0,01 * 0,1449(\text{HCl})}{0,25}$$

$$TN(\text{mg/g}) = \frac{Vt - Vb}{m(\text{amostra})} * 14,01 * 1000 * N(\text{final})$$

#### **Amostra Suldouro:**

$$Vt = 25,1 \text{ ml} / Vb = 4,7 \text{ ml} / m = 59,5 \text{ g} / N = 0,00850 \text{ mol/L}$$

$$TN = 27,9 \text{ mg/g} \rightarrow N = 2,78\%$$

#### **Excrementos do Gato:**

$$Vt = 25,1 \text{ ml} / Vb = 4,7 \text{ ml} / m = 59,5 \text{ g} / N = 0,00850 \text{ mol/L}$$

$$TN = 50,1 \text{ mg/g} \rightarrow N = 5,01\%$$

### *Determinação do teor de carbono total*

$$C(\text{m/m}) = \frac{m(\text{resultado})}{m(\text{amostra})} * 100\%$$

#### **Amostra Suldouro:**

$$m(\text{resultado}) = 25,30 \text{ mg}$$

$$m(\text{amostra}) = 41,40 \text{ mg}$$

$$C(\text{m/m}) = 61,1\%$$

#### **Excrementos do Gato:**

$$m(\text{resultado}) = 43,54 \text{ mg}$$

$$m(\text{amostra}) = 55,40 \text{ mg}$$

$$C(\text{m/m}) = 78,6\%$$

### *Determinação da razão carbono / azoto (C/N)*

$$\text{Razão(Carbono/Azoto)} = \frac{C}{N}$$

#### **Amostra Suldouro:**

$$C = 61,1\%$$

$$N = 2,78\%$$

#### **Excrementos do Gato:**

$$C = 78,6\%$$

$$N = 5,01\%$$