

# Opções de gestão de resíduos urbanos

Autoria:

**Ambirumo**

Manuel Piedade

Paula Aguiar



# Opções de gestão de resíduos urbanos

Autoria:

**Manuel Piedade**

**Paula Aguiar**



# FICHA TÉCNICA

**Título:**

Opções de Gestão de Resíduos Urbanos

**Autoria:**

Manuel Piedade

Paula Aguiar

**Colaboração:**

Patrícia Limbert

Rita Elói da Silva

**Comissão técnica de acompanhamento:**

Dulce Álvaro Pássaro, Jaime Melo Baptista, Filomena Lobo, Miguel Nunes, João Silva, Alexandra Costa, Ricardo Lopes, João Almeida, Edgar Carvalho

**Agradecimentos:**

A experiência portuguesa neste domínio é ilustrada com o contributo das seguintes entidades às quais expressamos o nosso agradecimento: Câmara Municipal de Matosinhos; Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto; Valor Ambiente – Gestão e Administração de Resíduos da Madeira, S.A.; Valorsul – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos da Área Metropolitana de Lisboa (Norte), S.A. – Ambirumo - Projectos, Inovação e Gestão Ambiental, Lda. – SMAS de Loures.

**Edição:**

Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

**Design gráfico:**

Dimensão 6, comunicação, design, publicidade, Lda.

**Revisão linguística:**

LIBRI-FABER, Serviços Editoriais, Lda.

**Composição, paginação, impressão e acabamentos:**

Seleprinter, Sociedade Gráfica, Lda.

**Tiragem:**

700 exemplares

(Reimpressão de 300 exemplares em dezembro de 2013)

**Local e data de edição:**

Lisboa, Março de 2010

Reimpresso em dezembro de 2013

**ISBN:**

978-989-8360-01-1

**Depósito legal:**

308598/10

# PREFÁCIO DA ERSAR

O sector de gestão de resíduos urbanos tem revelado nas últimas duas décadas uma evolução assinalável em Portugal, comprovada pelo facto de em 1994 apenas 46% dos resíduos urbanos terem um destino final adequado e de este indicador ter passado a 100% a partir de 2002.

Actualmente, a hierarquização da gestão dos resíduos imposta pelo normativo Nacional e Comunitário, que privilegia a reciclagem e a valorização dos resíduos em detrimento da sua eliminação, colocou às entidades gestoras novos desafios, que se traduzem na necessidade de unidades de tecnologia mais avançada, o que implica naturalmente um aumento de investimento e uma maior complexidade de exploração.

Acresce que, com a publicação do Decreto-Lei n.º 277/2009, de 2 de Outubro, a ERSAR viu o seu âmbito de intervenção alargado a todas as entidades gestoras de resíduos urbanos, o que implica uma actuação mais próxima e mais interventiva em todo o universo deste sector.

Atendendo a estes desafios, a ERSAR, que integra no seu modelo regulatório o apoio técnico às entidades gestoras tendo em vista a promoção de uma elevada qualidade de serviço a custos aceitáveis, disponibiliza agora este guia técnico às entidades gestoras.

Com esta publicação pretende-se que, de uma forma muito prática, mas sem descurar o rigor técnico e científico, disponibilizar aos gestores e técnicos das entidades gestoras dos sistemas gestão de resíduos urbanos um documento de fácil consulta, que constitua uma ferramenta de apoio para a sua tomada de decisões.

Com efeito, o principal objectivo é proporcionar um instrumento que contribua para a capacitação do sector de gestão dos resíduos urbanos, fornecendo informação detalhada sobre as várias operações, apoiada por casos de estudo de soluções em funcionamento, em que se identificam, sempre que possível e em função da informação disponível, os aspectos positivos e os principais constrangimentos existentes.

Consideramos ainda que o facto deste guia ter sido elaborado no contexto da realidade portuguesa, pese embora integre também casos de estudo internacionais, confere-lhe um valor acrescentado face à bibliografia internacional existente sobre gestão de resíduos urbanos.

Estamos convictos que o esforço desenvolvido pelos autores, com a colaboração de técnicos da ERSAR, será de utilidade para os diversos operadores de resíduos urbanos, na medida em que as opções de gestão apresentadas prosseguem uma gestão sustentada do ponto de vista técnico, económico e ambiental, na perspectiva de uma melhoria contínua da qualidade destes serviços públicos aos cidadãos.

Jaime Melo Baptista (Presidente do Conselho Directivo da ERSAR)  
João Simão Pires (Vogal do Conselho Directivo da ERSAR)  
Fernanda Maçãs (Vogal do Conselho Directivo da ERSAR)



## NOTA DOS AUTORES

À gestão de resíduos urbanos, no contexto actual, colocam-se questões que ultrapassam a mera necessidade da sua eliminação de forma ambientalmente correcta, como se verificou nas duas últimas décadas em Portugal.

A escassez de recursos e os impactes da eliminação de resíduos em aterro conduzem à necessidade de encontrar formas de valorização dos resíduos urbanos que diminuam os seus efeitos ambientais e contribuam para a sustentabilidade dos sistemas de gestão.

Portugal, em que foi efectuado um esforço notável para a eliminação do passivo ambiental resultante de décadas e décadas de deposição não controlada dos resíduos, encontra-se numa fase em que as opções, a nível das formas de valorização dos resíduos urbanos, implicam decisões técnicas e económicas com repercussões a médio e longo prazo.

Torna-se fundamental que essas decisões se baseiem nas melhores opções, tendo em conta as tecnologias existentes e as experiências já vividas por alguns sistemas nacionais e internacionais, sobretudo em países com alguma similaridade com a realidade nacional.

O presente Guia tem como objectivo fornecer ao nível das diferentes operações que integram o ciclo de produção/valorização/eliminação dos resíduos urbanos um conjunto de informações respeitantes a processos, tecnologias e casos estudo, que permitam apoiar a tomada de decisão sobre as soluções a implementar.

Os Autores manifestam o seu reconhecimento ao apoio da ERSAR, através da crítica e colaboração contínuas durante a elaboração deste Guia.

Também é devido o reconhecimento às entidades nacionais e internacionais que, de forma colaborante, contribuíram com a informação sobre as suas experiências para a elaboração do Guia.

Os Autores sentirão recompensados o empenho e o esforço que puseram na elaboração deste Guia se, para os seus utilizadores, ele constituir um efectivo instrumento de apoio à implementação de soluções sustentadas de gestão de resíduos.

Manuel Piedade

Paula Aguiar



# ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO .....	1
2.	RECOLHA .....	5
2.1	Nota introdutória .....	5
2.2	Esquemas de recolhas selectivas .....	6
2.2.1	Condicionantes .....	6
2.2.2	Modalidades da recolha selectiva .....	
	multimaterial .....	10
2.2.3	A recolha selectiva de RUB .....	21
2.3	Casos de estudo .....	24
2.3.1	LIPOR (2007) .....	24
2.3.2	Estudo ISCTE (2002) .....	29
2.3.3	Custos na UE (2002) .....	32
2.3.4	Estudo ISR-cer (2003) .....	34
2.4	A implementação de novos esquemas de recolha	42
2.5	Monitorização da recolha .....	43
2.6	Melhoria / optimização da recolha .....	44
2.6.1	Alteração da tipologia dos meios de .....	
	deposição .....	45
2.6.2	Alteração da frequência de recolha .....	46
2.6.3	Optimização dos circuitos de recolha .....	46
2.6.4	Implementação de um sistema de recolha	
	multifluxo .....	47
2.6.5	Utilização de equipamento de recolha	
	automatizado .....	47
2.7	O caso da optimização da recolha em	
	Matosinhos .....	48
2.7.1	Enquadramento .....	48
2.7.2	Caracterização da situação existente .....	48
2.7.3	Linhas de intervenção estratégica .....	56
3.	TRIAGEM .....	59
3.1	Nota introdutória .....	59
3.2	Sistemas de triagem .....	60
3.2.1	Triagem manual .....	60
3.2.2	Triagem semi-automática .....	63
3.2.3	Triagem automática .....	63
3.3	Equipamentos de triagem .....	66
3.3.1	Abridor de sacos .....	66
3.3.2	Separadores granulométricos .....	67
3.3.3	Separadores densimétricos .....	68

3.3.4	Separadores ópticos .....	70
3.3.5	Separadores magnéticos .....	70
3.3.6	Separadores de metais não-ferrosos .....	71
3.3.7	Mesas de triagem .....	72
3.3.8	Transportadores .....	72
3.3.9	Prensas .....	73
3.4	Concepção das instalações de triagem .....	74
3.5	Casos de estudo .....	76
3.5.1	Estação de triagem da Ilha da Madeira ....	76
3.5.2	Centro de triagem da Valorsul .....	81
4.	VALORIZAÇÃO ORGÂNICA .....	85
4.1	Tratamento mecânico e biológico .....	85
4.1.1	Nota introdutória .....	85
4.1.2	Princípios de funcionamento do TMB .....	87
4.1.3	Produtos do TMB .....	89
4.1.4	Condicionantes de utilização .....	94
4.1.5	Planeamento da implementação .....	95
4.1.6	Custos .....	96
4.1.7	O caso da instalação de produção de CDR de Florença .....	98
4.2	Compostagem .....	105
4.2.1	Descrição do processo .....	106
4.2.2	Tecnologias existentes .....	109
4.2.3	Controlo do processo .....	111
4.2.4	Comercialização do composto .....	119
4.2.5	Custos .....	119
4.2.6	O caso da CVO da LIPOR .....	121
4.3	Digestão anaeróbia .....	128
4.3.1	Descrição do processo .....	130
4.3.2	Tecnologias existentes .....	133
4.3.3	Controlo do processo .....	137
4.3.4	Custos .....	142
4.3.5	O caso da Estação de Tratamento e Valorização Orgânica da VALORSUL .....	142
5.	VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA .....	151
5.1	Nota introdutória .....	151
5.2	Incineração em grelha .....	152
5.2.1	Descrição do processo .....	152
5.2.2	Pré-tratamento .....	153
5.2.3	Combustão .....	153
5.2.4	Recuperação de energia .....	155

5.2.5	Tratamento de emissões gasosas	157
5.2.6	Tratamento dos resíduos do processo	162
5.2.7	Tratamento dos efluentes líquidos	163
5.2.8	Controlo do processo	164
5.2.9	Custos	165
5.3	Leitos fluidizados	165
5.3.1	Descrição do processo	165
5.3.2	Recuperação de energia	166
5.3.3	Tratamento de emissões gasosas	167
5.4	Pirólise / gaseificação	167
5.4.1	Descrição do processo	167
5.4.2	Pirólise de resíduos urbanos	169
6.	DEPOSIÇÃO EM ATERRO	171
6.1	Nota introdutória	171
6.2	Princípios gerais	172
6.3	Seleção de local para aterro	174
6.4	Concepção do aterro	175
6.4.1	Aspectos gerais	175
6.4.2	Fundação	177
6.4.3	Sistema de impermeabilização de fundo e taludes	178
6.4.4	Sistema de drenagem de águas pluviais e lixiviados	184
6.4.5	Sistema de tratamento de lixiviados	187
6.4.6	Sistema de drenagem e tratamento de biogás	188
6.4.7	Sistema de encerramento	189
6.4.8	Vias de acesso	192
6.5	Aspectos relevantes na construção	192
6.6	Aspectos relevantes na exploração	196
6.6.1	Admissão de resíduos	196
6.6.2	Plano de exploração	196
6.6.3	Gestão dos lixiviados	197
6.6.4	Captação, drenagem e tratamento de biogás	200
6.6.5	Aproveitamento energético de biogás	203
6.7	Monitorização	205
6.8	Custos	205
	BIBLIOGRAFIA	207

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento de deposição selectiva . . . . .	11
Figura 2 – Grau de cobertura por vidrões, papelões, embalões e ecopontos . . . . .	11
Figura 3 – Capitação de materiais retomados para reciclagem vs grau de cobertura com ecopontos (2007) . . . . .	13
Figura 4 – Exemplo de modelos de contentores utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de papel-cartão (azul) e embalagens (amarelo) em compartimentos de resíduos (concelho de Matosinhos) . . . . .	15
Figura 5 – Exemplo de modelos de contentores utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de recicláveis (contentor azul) em compartimentos de resíduos (concelho de Oeiras) . . . . .	15
Figura 6 – Exemplo de modelos de cestos utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de recicláveis (concelho de Loures) (SMAS Loures) . . . . .	16
Figura 7 – Exemplo de viaturas utilizadas na recolha em função da tipologia de contentores (SMAS Loures) . . . . .	19
Figura 8 – Aspectos de um ecocentro . . . . .	20
Figura 9 – Recolha selectiva porta-a-porta: capitação da fracção embalagem . . . . .	25
Figura 10 – Recolha selectiva de ecopontos: capitação nos vários municípios . . . . .	27
Figura 11 – Capitações na recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta . . . . .	28
Figura 12 – Custo da recolha indiferenciada . . . . .	33
Figura 13 – Custo da recolha selectiva de papel-cartão . . . . .	33
Figura 14 – Custo da recolha selectiva de vidro . . . . .	33
Figura 15 – Custo da recolha selectiva de embalagens . . . . .	33
Figura 16 – Modelos de contentores de tampa fechada . . . . .	36
Figura 17 – Modelo de contentor tipo <i>igloo</i> . . . . .	36
Figura 18 – Distribuição do nº de sistemas de recolha pelas Unidades de Gestão analisadas . . . . .	36
Figura 19 – População abrangida por sistema de recolha . . . . .	37
Figura 20 – Modelo de contentor de tampa aberta . . . . .	37

Figura 21 – Consumo de energia fóssil por sistema de recolha	39
Figura 22 – Contribuição de cada sistema de recolha para o efeito de estufa	39
Figura 23 – Custos associados aos sistemas de recolha	40
Figura 24 – Zona de Matosinhos. Área de influência de ecopontos	52
Figura 25 – Triagem em contínuo (tapete deslizante)	62
Figura 26 – Triagem sequencial	62
Figura 27 – Esquema de funcionamento dos separadores automáticos	64
Figura 28 – Abre-sacos com discos rotativos cortantes (a) e de pontas dilaceradoras (b)	67
Figura 29 – Tromel	68
Figura 30 – Separador balístico	69
Figura 31 – Separador óptico	70
Figura 32 – Separadores magnéticos	71
Figura 33 – Separador de metais não ferrosos	71
Figura 34 – Mesa de triagem	72
Figura 35 – Transportador de banda	73
Figura 36 – Prensa (a) aspecto geral (b) pistão de compressão (c) prato de compressão	74
Figura 37 – Linha de triagem automática de embalagens plásticas e metálicas	78
Figura 38 – Diagrama de blocos do TMB convencional	86
Figura 39 – Diagrama de blocos do TMB alimentado por resíduos da recolha selectiva	88
Figura 40 – Diagrama de blocos do TMB alimentado por resíduos da recolha indiferenciada	89
Figura 41 – Abordagem de um estudo de viabilidade de TMB	96
Figura 42 – Preços de unidades de TMB (DA)	97
Figura 43 – Gama de variação de preços de TMB (DA) considerando o tratamento de RUB da recolha indiferenciada e selectiva ou apenas da recolha selectiva	97
Figura 44 – Layout da instalação de selecção e compostagem de Case Passerini – Florença, Itália	100
Figura 45 – Fossa de resíduos	101

Figura 46 – CDR a granel prensado .....	102
Figura 47 – Máquina de peletização e produção de <i>pellets</i> ...	103
Figura 48 – Armazenamento do CDR .....	103
Figura 49 – Custos de investimento e operação de instalações de compostagem (preços 2003) .....	120
Figura 50 – Custos de investimento e operação de instalações de digestão anaeróbia (preços 2003) .....	142
Figura 51 – Esquema de incineração em grelha .....	154
Figura 52 – Esquema de tratamento de gases por processo semi-seco .....	162
Figura 53 - Custos de investimento e operação de instalações de incineração (preços 2003) .....	165
Figura 54 – Aspectos a considerar na concepção de um aterro	176
Figura 55 – Sistema de impermeabilização do fundo e dos taludes de um aterro .....	179
Figura 56 – Exemplo do sistema de drenagem de lixiviados projectado para um aterro .....	186
Figura 57 – Sistema de babetes instalado num aterro .....	187
Figura 58 – Pormenor de babetes .....	187
Figura 59 – Esquema de selagem de um aterro .....	190
Figura 60 – Exemplo de colocação de telas temporárias .....	197
Figura 61 – Poço de biogás na fase de arranque .....	200
Figura 62 – Poço de biogás na fase de exploração .....	201
Figura 63 – Poço de biogás projectado para um aterro .....	202
Figura 64 – Queimador de biogás .....	202
Figura 65 – Curva típica de produção/recuperação de biogás .	204
Figura 66 – Curvas típicas de potência eléctrica e térmica resultantes .....	204
Figura 67 – Custos de investimento e de operação de aterros (preços 2003) .....	206

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Deposição selectiva em contentores móveis – vantagens / inconvenientes .....	17
Quadro 2 – Deposição selectiva em cestos plásticos – vantagens / inconvenientes .....	17
Quadro 3 – Deposição selectiva em sacos - vantagens / inconvenientes .....	18
Quadro 4 – Comparação de sistemas de recolha selectiva ...	21
Quadro 5 – Esquemas referenciados para a deposição selectiva de RUB de habitações .....	23
Quadro 6 – Frequência da recolha porta-a-porta .....	25
Quadro 7 – Frequência da recolha de ecopontos .....	26
Quadro 8 – Características dos sistemas de recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta .....	30
Quadro 9 – Indicadores da recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta .....	31
Quadro 10 – Taxas de refugo .....	32
Quadro 11 – Tipologia dos sistemas de recolha .....	35
Quadro 12 – Vantagens / desvantagens dos sistemas de recolha .....	38
Quadro 13 – Conclusões da análise de eco-eficiência .....	41
Quadro 14 – Eficiência dos sistema de recolha em função do agregado habitacional .....	41
Quadro 15 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução dos circuitos de recolha indiferenciada de Molok	49
Quadro 16 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução de um circuito de recolha indiferenciada de Molok	50
Quadro 17 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução dos circuitos nocturnos de recolha indiferenciada	50
Quadro 18 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução de um circuito de recolha nocturna indiferenciada	51
Quadro 19 – Zona de Matosinhos. Intervalo médio de recolha de ecopontos .....	53
Quadro 20 – Zona de Matosinhos. Indicadores da recolha de ecopontos .....	53

Quadro 21 – Zona de Matosinhos. Grau médio de enchimento com que os contentores dos ecopontos são recolhidos .....	54
Quadro 22 – Zona de Matosinhos. Indicadores médios para o circuito nocturno de recolha de papel/cartão ..	54
Quadro 23 – Potenciais aplicações para os produtos do TMB .	91
Quadro 24 – Aceitação das aplicações do <i>output</i> como composto .....	92
Quadro 25 – Aceitação das aplicações do <i>output</i> como CDR .	94
Quadro 26 – Temperaturas e tempos de exposição necessários para a eliminação de vários organismos parasitas comuns .....	117
Quadro 27 – Métodos de tratamento por digestão anaeróbia	133
Quadro 28 – Sistemas mesofílicos <i>versus</i> termofílicos .....	134
Quadro 29 – Processamento por via seca <i>versus</i> via húmida ..	136
Quadro 30 – Parâmetros de controlo do processo de digestão anaeróbia .....	138
Quadro 31 – Cálculo da eficiência energética .....	151
Quadro 32 – Componentes dos gases de incineração .....	157
Quadro 33 – Limites de emissão .....	158
Quadro 34 – Valores-limite de emissão para descarga de efluentes provenientes da depuração de gases ..	163
Quadro 35 – Requisitos mínimos a que devem obedecer as diferentes classes de aterros .....	177
Quadro 36 – Condições de permeabilidade e espessura a que deve obedecer o sistema de protecção ambiental passiva .....	178
Quadro 37 – Grau de importância das propriedades a considerar na escolha de geossintéticos .....	181
Quadro 38 – Exemplo de quadro de especificações de geotêxteis .....	182
Quadro 39 – Exemplo de quadro de especificações de geomembranas .....	183
Quadro 40 – Vantagens / desvantagens da recirculação de lixiviados .....	198
Quadro 41 – Métodos utilizados para a recirculação de lixiviados .....	199
Quadro 42 – Composição do biogás – Intervalos típicos .....	203

## ABREVIATURAS UTILIZADAS

C/N	relação carbono/azoto
CBO	carência bioquímica de oxigénio
CDR	combustível derivado de resíduos
CQO	carência química de oxigénio
CSR	combustível sólido recuperado
CVO	central de valorização orgânica
DA	digestão anaeróbia
ECAL	embalagens de cartão para alimentos líquidos
EPS	poliestireno expandido
ETAR	estação de tratamento de águas residuais
GEE	gases com efeito de estufa
LER	Lista Europeia de Resíduos
PCI	poder calorífico inferior
PCIP	prevenção e controlo integrados da poluição
PEAD	polietileno de alta densidade
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
PET	politereftalato de etileno
REEE	resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos
RU	resíduos urbanos
RUB	resíduos urbanos biodegradáveis
SPV	Sociedade Ponto Verde
TMB	tratamento mecânico e biológico
UE	União Europeia
XRF	fluorescência de raios X
XRT	transmissão de raios X



# 1. INTRODUÇÃO

À luz do 6.º Programa Comunitário de Acção em Matéria de Ambiente,<sup>1</sup> foi estabelecida, a par de outras, a **Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos**,<sup>2</sup> em que se reforçam os objectivos da actual política comunitária de resíduos: prevenção de resíduos e promoção da sua reutilização, reciclagem e valorização, de modo a reduzir o seu impacte ambiental negativo.

A longo prazo, pretende-se, com efeito, que a União Europeia (UE) se torne numa sociedade da reciclagem, que procure evitar a geração de resíduos e que utilize os resíduos como um recurso.

Neste sentido, esta Estratégia aponta para a modernização do quadro jurídico em vigor, através da introdução da análise do ciclo de vida na definição de políticas e da clarificação, simplificação e racionalização da legislação da UE em matéria de resíduos.

A nova **Directiva-quadro dos resíduos**,<sup>3</sup> recentemente aprovada, decorre já destas orientações.

Elaborado neste enquadramento, o **Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU II)**<sup>4</sup> constitui o instrumento estratégico de referência a nível nacional, director da gestão dos resíduos urbanos no período 2007 a 2016.

Os objectivos e eixos de intervenção nele estabelecidos assentam, entre outros princípios orientadores, no quadro legal comunitário e nacional na área dos resíduos e noutras que se lhe associam.

Assim, o PERSU II define claramente as metas a atingir e acções a implementar tendo em consideração a necessidade de assegurar o cumprimento dos objectivos de gestão de resíduos de embalagens<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Decisão n.º 1600/2002/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de Julho de 2002.

<sup>2</sup> COM (2005) 666, de 21 de Dezembro de 2005.

<sup>3</sup> Directiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008.

<sup>4</sup> Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro de 2007.

<sup>5</sup> Definidos no Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro (que transpõe para o direito nacional a Directiva n.º 94/62/CE, do Parlamento e do Conselho, de 20 de Dezembro de 1994, e a Directiva n.º 2004/12/CE, de 11 de Fevereiro), alterado pelo Decreto-Lei n.º 162/2000, de 27 de Julho, e pelo Decreto-Lei n.º 92/2006, de 25 de Maio.

e de gestão de resíduos urbanos biodegradáveis (desvio de aterro).<sup>6</sup>

Por outro lado, o PERSU II considera designadamente o novo **Regime Geral da Gestão dos Resíduos**,<sup>7</sup> aprovado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, que veio introduzir alterações significativas no enquadramento legal do sector. Aplica-se às operações de gestão de resíduos, compreendendo toda e qualquer operação de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como às operações de descontaminação de solos e à monitorização dos locais de deposição após o encerramento das respectivas instalações.

Esclarece-se neste diploma o conceito de **resíduos urbanos** – são os resíduos provenientes de habitações, bem como outros que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos provenientes de habitações.

A gestão destes resíduos, quer pela quantidade, quer pelas características diversificadas dos materiais que os compõem, representam hoje em dia um problema a que é necessário dar resposta, num enquadramento ambientalmente adequado e de forma sustentável.

A cadeia de recolha/valorização/eliminação de resíduos é composta por um conjunto de operações que necessariamente deverão ser avaliadas de modo integrado.

Com efeito as opções tomadas na perspectiva apenas de uma das operações, ainda que estas se revelem como as mais adequadas para a operação em causa, não significa necessariamente que em termos globais do sistema sejam as melhores, tanto no aspecto ambiental, como no económico.

Este risco é tanto mais evidente quando, de forma generalizada em Portugal, há uma divisão de responsabilidades entre as operações de remoção, aqui entendida como a deposição, recolha e transporte, e as operações de valorização e eliminação de resíduos.

---

<sup>6</sup> Definidos no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, que transpõe para o direito nacional a Directiva 1999/31/CE, do Conselho, de 26 Abril.

<sup>7</sup> Transpõe para o direito nacional a Directiva n.º 2006/12/CE, do Parlamento e do Conselho, de 5 de Abril, e a Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro.

As decisões tomadas a nível da recolha condicionam seguramente as operações a jusante, verificando-se o mesmo na situação inversa. Refira-se por exemplo que a reconhecida vantagem no ganho de escala das operações de tratamento poderá não ser compensada ambiental e economicamente pela necessidade de maiores distâncias de transporte e consequentes consumos de combustíveis e decorrentes emissões.

Assim, as decisões em qualquer das operações do sistema deverão ter sempre em conta as implicações nas restantes e a necessidade de concertação das opções que se colocam a todos os níveis.

Esta preocupação acentua-se com a tendência, futura mas a breve prazo, de fazer recair sobre os produtores o custo integral da gestão dos resíduos, o que hoje em dia não se verifica ainda na generalidade das situações.

Este facto pode e deve, no entanto, ser encarado como uma oportunidade, na medida em que facilitará a mobilização das pessoas para a necessidade de colaborar na prevenção e na adopção de boas práticas, fundamentais à optimização da cadeia de valorização e eliminação dos resíduos.

Por outro lado, as opções sobre as soluções aos diferentes níveis do sistema de resíduos urbanos devem ter sempre presente o interesse na adopção das melhores tecnologias disponíveis, tendo em vista a valorização e, sempre que possível, a sua transformação num produto com valor comercial que contribua de forma positiva para a minimização dos aspectos ambientais e custos do sistema.

A diversidade e sofisticação das tecnologias existentes, e que de modo contínuo são melhoradas e optimizadas, reflectem este tipo de preocupações, apresentando aos decisores um leque cada vez mais alargado de soluções e complexidade.

Neste contexto, as soluções a implementar terão necessariamente subjacente o quadro normativo vigente, não podendo deixar de ser equacionados, para além dos aspectos técnicos, os impactes económicos com repercussão nos utilizadores dos sistemas de resíduos urbanos.

Neste enquadramento, o principal objectivo deste Guia é proporcionar um instrumento que ajude a qualificar o sector de gestão dos resíduos urbanos, fornecendo informação detalhada sobre as várias operações, apoiada por casos de estudo de soluções em funcionamento, em que se relevam, sempre que

possível e em função da informação disponível, os aspectos positivos e os principais constrangimentos existentes.

Pretende-se assim, como ferramenta simples, mas com rigor técnico, proporcionar formação no conhecimento da problemática dos resíduos urbanos, nas suas diferentes vertentes, e simultaneamente disponibilizar aos gestores e técnicos dos Sistemas, informação que permita apoiar a tomada de decisões.

O Guia está estruturado em cinco capítulos que percorrem a cadeia de operações da gestão de resíduos urbanos:

- no primeiro, é abordada a recolha, tanto indiferenciada, como selectiva, e os aspectos de optimização e monitorização desta operação;
- o segundo, terceiro e quarto centram-se nos aspectos da valorização multimaterial, orgânica e energética, respectivamente, abordando-se as diferentes tecnologias e as perspectivas de evolução em função da tendência de considerar os resíduos como recursos;
- no quinto refere-se a deposição em aterro, considerada como fim de linha da gestão de resíduos, com ênfase nos aspectos construtivos e de exploração.

Os aspectos da prevenção, seguramente relevantes e determinantes de uma gestão eficaz dos resíduos, não foram aqui considerados.

Não pretendendo substituir os livros de texto académicos sobre a temática dos resíduos, que poderão pormenorizar aspectos mais específicos, espera-se que este Guia constitua um instrumento útil, quer para os técnicos de alguma forma ligados à gestão dos resíduos, quer para o público em geral.

## 2. RECOLHA

### 2.1 Nota introdutória

A operação de recolha tem um peso significativo, da ordem de 40% a 70%, no custo global da gestão dos resíduos urbanos, o que só por si justifica a necessidade de uma atenção permanente na identificação de possibilidades de melhoria do serviço e nos ganhos de eficiência.

Se esta atenção é requerida para os actuais esquemas de recolha, quer indiferenciada, quer selectiva, torna-se ainda mais premente futuramente, face à necessidade de se evoluir para modos mais intensivos de recolhas selectivas, tanto para dar resposta às metas de valorização multimaterial, como às de valorização orgânica.

Os desafios actuais colocam-se assim, por um lado, ao nível do reforço das redes de recolha selectiva multimaterial e de RUB – que constituem linhas de actuação estratégica de envolvimento dos Sistemas, conforme consagrado no PERSU II – através da adopção de soluções potenciadoras de aumentos significativos das taxas de recuperação de materiais recicláveis, com minimização de custos e de impactes ambientais negativos (nomeadamente com redução do consumo de combustíveis e consequentes emissões atmosféricas resultantes da actividade).

Colocam-se, por outro lado, e na mesma óptica de eficácia e de redução de custos, ao nível da optimização dos esquemas de recolha já implantados e relativamente estabilizados, como será o caso da generalidade das recolhas indiferenciadas que cobrem praticamente toda a população, e das recolhas selectivas por ecopontos, também generalizadas.

As intervenções sobre a operação de recolha podem enquadrar-se numa abordagem do tipo «ciclo PDCA» (*plan, do, check, act*), envolvendo actividades cíclicas de:

- planeamento – definição de objectivos, estudo, análise e projecto de soluções;
- implementação – concretização das soluções adoptadas;
- monitorização – acompanhamento e análise de resultados (rendimentos, custos, satisfação dos utentes);
- melhoria/optimização – como resposta aos resultados da monitorização.

Os pontos seguintes seguem de certa forma esta lógica de intervenção, embora com ênfase distinta nas recolhas selectivas e na recolha indiferenciada, em função das diferentes solicitações a que no curto prazo terão que dar resposta.

De salientar que a utilização do termo «recolha» neste documento nem sempre é feita de forma estrita, isto é referindo-se exclusivamente à operação que envolve a apanha dos resíduos e o seu transporte até ao local de descarga, mas faz-se também de uma forma abrangente, substituindo o termo «remoção», mais correcto, mas de utilização menos comum, que engloba a deposição (acondicionamento), a recolha propriamente dita e o transporte até ao local de transferência ou tratamento.

## **2.2 Esquemas de recolhas selectivas**

### **2.2.1 Condicionantes**

A necessidade de um incremento acentuado da recuperação de materiais dos resíduos urbanos, com o objectivo de cumprimento das metas estipuladas para a reciclagem de resíduos de embalagem neles presentes, e também do desvio de RUB de aterro, conduz à necessidade de equacionar, de entre as diferentes modalidades de recolhas selectivas, as que melhor contribuam para esse objectivo, bem como a uma análise crítica dos esquemas de recolha selectiva até agora implementados de modo a optimizá-los e assim contribuir para uma maior eficiência e redução de custos.

Nesta análise pesam desde logo, como factores condicionantes:

- a adesão da população;
- a facilidade de deposição e de recolha;
- o nível de complexidade das operações a jusante;
- os custos das operações.

#### **Adesão da população**

Visando a recolha selectiva a recuperação e posterior encaminhamento para reciclagem de diversos materiais, ou RUB para valorização orgânica, a intervenção da população torna-se fundamental numa primeira fase, pois é ela que inicia a operação através da separação na origem dos resíduos, factor determinante na maior ou menor complexidade das operações a jusante.

No entanto, e apesar de corresponder à situação ideal, é impraticável a separação na origem de cada uma das fileiras que

constituem a fracção reciclável, na medida em que essa prática exigiria da parte dos produtores um perfeito conhecimento da natureza dos diferentes materiais a separar e disponibilidade de espaço para armazenar temporariamente os resíduos até à sua recolha, para além de se exigir um esforço relativo nesta sua intervenção.

Por outro lado, o aumento da quantidade de fracções a separar na origem implica um maior número de meios de deposição e de diversificação de circuitos de recolha, com os inerentes aumentos de custos.

Assim, há que encontrar um compromisso entre o que seria ideal, o esforço exigido à população e o equilíbrio de custos, devendo procurar-se:

- simplificar, tanto quanto possível, a separação na origem, tendo em vista a minimização do esforço imposto ao utente do sistema e a garantia de uma selecção adequada das fracções a submeter a posterior tratamento;
- disponibilizar, dentro do limite razoável, meios de deposição adequados, quer em número quer em tipologia, para que o acto de deposição seja encarado com normalidade e como parte integrante das tarefas de rotina;
- localizar os meios de deposição numa lógica de facilitar o acesso aos potenciais utilizadores.

Qualquer destes aspectos concorre para que o número de fracções a considerar em termos de separação na origem não seja muito elevado.

No sentido da simplificação desta operação, e do ganho da adesão da população, são importantes as acções de sensibilização que transmitam claramente quais os materiais-alvo a separar e os objectivos em causa. A adopção de simbologia orientativa ao nível das embalagens poderá também ser uma forma do utilizador encarar o acto de separação na origem como facilitado, contribuindo para maiores níveis de adesão.

### **Facilidade de deposição e de recolha**

Sob o ponto de vista da disponibilidade, os meios de deposição devem garantir o volume adequado às produções estimadas para cada tipo de material, em função da frequência de recolha prevista. O número de equipamentos pode ser no entanto condicionado pela

estrutura urbanística (contentores na via pública) e habitacional (contentores nas habitações).

No sentido de facilitar o acto de deposição dos resíduos a recolher selectivamente, os equipamentos colectivos deverão estar adaptados às características dos materiais a receber, proporcionar ao utilizador o mínimo dispêndio de esforço e a máxima segurança e conter informação clara e inequívoca sobre os materiais a depositar.

No que se refere à recolha, os materiais incluídos nas diferentes fracções apresentam características físico-químicas e biológicas distintas que influenciam as frequências de recolha a adoptar, devendo compatibilizar-se os volumes de deposição disponíveis, os tempos de produção expectáveis e a salvaguarda das condições ambientais e de saúde pública.

Neste sentido, dever-se-á ter em conta que:

- as frequências de recolha óptimas para as diferentes fracções são diferentes consoante a tipologia dos materiais e o volume de resíduos a recolher;
- a recolha individual de cada fracção leva a circuitos diferenciados adicionais, com repercussões ao nível dos custos associados.

O recurso a viaturas mais flexíveis no que respeita ao número de compartimentos da caixa pode, em algumas situações, tornar-se vantajoso, permitindo a recolha simultânea de duas ou mais fracções de materiais depositados selectivamente, como forma de obviar o acréscimo de circuitos resultantes da recolha individualizada de cada fracção separada na origem.

### **Nível de complexidade das operações a jusante**

O maior ou menor grau de separação na origem dos materiais a recuperar condiciona o esquema de triagem ou tratamento a jusante.

Por outro lado, as especificações técnicas dos materiais a enviar para reciclagem, principalmente ao nível da percentagem de contaminantes admitida, tem também implicações nos esquemas a adoptar.

No que se refere à reciclagem multimaterial, havendo necessidade de estabelecer um ponto de equilíbrio entre o esquema a adoptar para a recolha e posterior triagem dos materiais e as características

impostas pela indústria recicladora, a tipologia de deposição mais generalizada tem sido a trifluxe:

- o papel/cartão é separado das restantes fracções, devido à contaminação que estas lhe podem conferir e à maior dificuldade de o triar misturado com embalagens volumosas;
- o vidro é separado das restantes fracções, para evitar dificuldades na sua triagem posterior conjuntamente com outros materiais;
- os plásticos, metais e embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL) são depositados conjuntamente, na medida em que a sua segregação nas linhas de triagem é relativamente fácil mediante recurso a separadores electromagnéticos para os metais ferrosos, a separadores de metais não-ferrosos e a separação manual ou através de sistemas ópticos para os restantes materiais.

Um outro esquema de deposição, em que o objectivo primordial é a recolha selectiva de RUB, envolve a separação em duas fracções – húmida e seca.

Neste caso, não generalizado em Portugal, a recuperação para reciclagem de resíduos de embalagens obriga a operações a jusante mais complexas, dada a mistura de todos os materiais e o grau de contaminação com resíduos não recicláveis.

### **Custos das operações**

Tendo a recolha um peso significativo no custo global da gestão dos resíduos urbanos, deverão equacionar-se formas de gestão com menor intensidade de consumo de recursos humanos e materiais, nomeadamente através de:

- utilização de meios de deposição que permitam uma utilização polivalente das viaturas de recolha;
- redução da frequência da remoção indiferenciada, libertando meios para a execução da remoção selectiva;
- mecanização da recolha, reduzindo a dependência de meios humanos;
- utilização de veículos movidos a combustíveis alternativos com menor intensidade energética e emissões atmosféricas.

## 2.2.2 Modalidades da recolha selectiva multimaterial

A remoção selectiva das fracções dos resíduos urbanos com interesse para reciclagem pode assumir basicamente as seguintes modalidades:

- remoção selectiva em ecopontos;
- remoção selectiva na origem (recolha porta-a-porta);
- ecocentros.

Quer os ecopontos, quer os ecocentros são equipamentos já largamente utilizados no País para a recolha selectiva multimaterial. A recolha porta-a-porta, por outro lado, tem uma expressão ainda reduzida.

De referir que a recolha selectiva não se esgota nestas modalidades, havendo ainda, embora em situações particulares e de forma pouco generalizada, o recurso a utilização de sistemas pneumáticos, como o instalado no Parque das Nações, em Lisboa. Os sistemas existentes implicam normalmente a duplicação de condutas, uma para a fracção indiferenciada, e outra para a selectiva. Quando o objectivo é a recolha de mais do que uma fileira de materiais recicláveis, esta situação obriga a uma disciplina nos horários da deposição de forma a garantir a não mistura de materiais.

### Ecopontos

Localizados na via pública preferencialmente em locais de passagem e uso habitual (na proximidade do contentor de deposição indiferenciada, supermercados, escolas, restaurantes e cafés, entre outros) com o objectivo de promover a participação da população, são compostos em regra por três contentores de cores diferentes: verde para o fluxo embalagens de vidro (vidrão), azul para o fluxo papel/cartão (papelão), amarelo para o fluxo embalagens de plástico, metal e cartão para alimentos líquidos (embalão) [Figura 1 (a) e (b)].

Por vezes estes contentores são utilizados isoladamente, para remoção monomaterial [Figura 1 (c)], sobretudo para o papel/cartão e vidro, junto a grandes produtores.

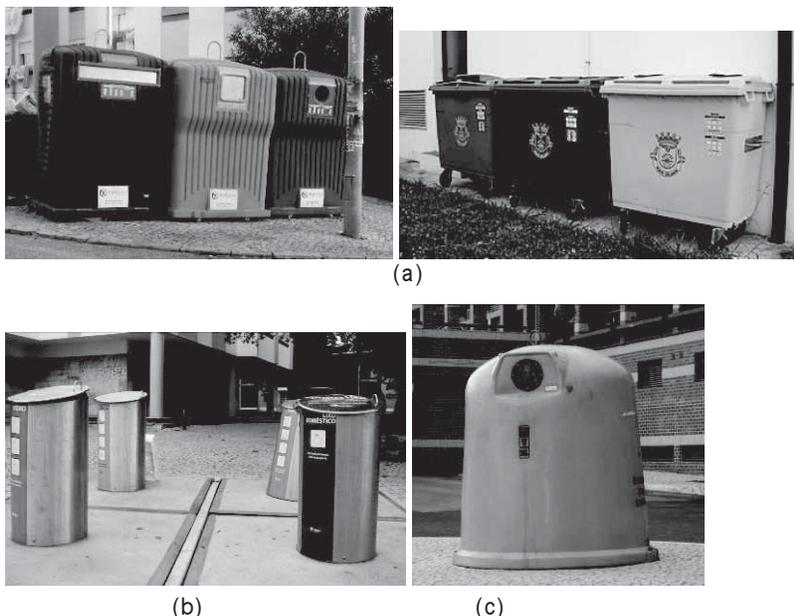


Figura 1 – Equipamento de deposição selectiva  
 (a) ecoponto de superfície (b) ecoponto enterrado (c) vidrão isolado (Ambirumo)

A Figura 2 ilustra o grau de cobertura actual da população com estes equipamentos, considerando por um lado os contentores para cada fluxo individualmente, e por outro os ecopontos (conjuntos para as três fracções).

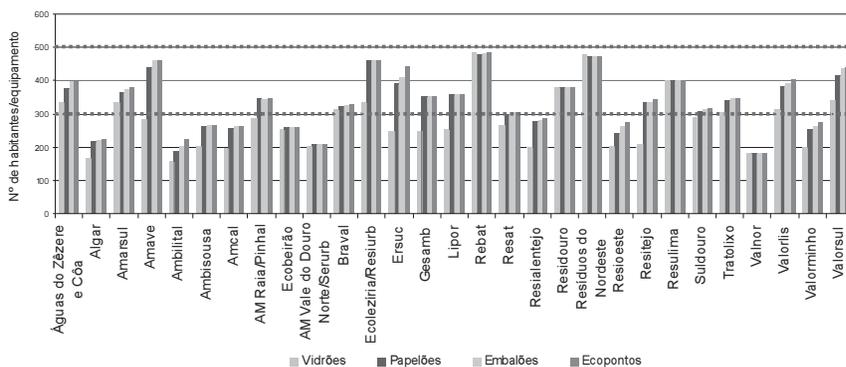


Figura 2 – Grau de cobertura por vidrões, papelões, embalões e ecopontos (SPV, 2007)

Em 2007, o grau médio de cobertura de ecopontos situou-se na ordem dos 340 habitantes por ecoponto. A maioria dos Sistemas (60% a 70%) apresentava graus de cobertura entre 300 e 500 habitantes por papelão e por embalão, enquanto 60% possuíam já uma cobertura de menos de 300 habitantes/vidrão.

No entanto, apesar do esforço dos Sistemas no reforço destes meios de deposição selectiva, nem sempre às coberturas maiores correspondem quantitativos retomados mais elevados, constatando-se uma grande dispersão de valores, conforme mostram os gráficos da Figura 3 (construídos com valores de Sistemas sem recolhas selectivas porta-a-porta), o que certamente, em parte, advém da especificidade de cada Sistema. Tal facto reforça a necessidade do incremento do grau de cobertura com ecopontos ser acompanhado, para além de sensibilização, do estudo das melhores localizações.

Para além do número, a sua localização e área de influência têm consequências ao nível da eficácia na recuperação de materiais recicláveis.

De facto, na localização dos ecopontos deve ser dada prioridade a locais estratégicos, conforme mencionado, de modo a que o acto de deposição não seja encarado como um esforço e seja interiorizado como uma actividade de rotina.

Nesta perspectiva, a distância entre ecopontos deve ser bem planeada – por um lado, deverá ser consentânea com a distância que a população estará disposta a percorrer para deposição dos resíduos, que se admite em média ser no máximo de 150 m; por outro, a procura de servir pontos específicos de produção potencial não deve conduzir a que haja grande sobreposição das áreas de influência dos equipamentos.

A frequência de recolha reveste-se também da maior importância, devendo representar um ponto de equilíbrio entre a situação de excessivo enchimento, que poderá ter um efeito negativo para os utilizadores por dificultar a deposição de materiais, e a de recolha com níveis baixos de enchimento, pelos custos operacionais que acarreta. A frequência deve, em geral, ser estabelecida para um grau médio de enchimento de cerca de 75% da capacidade de cada contentor.

A manutenção e limpeza dos contentores e dos espaços envolventes é indispensável, na medida em que o seu aspecto poderá também condicionar a participação da população.

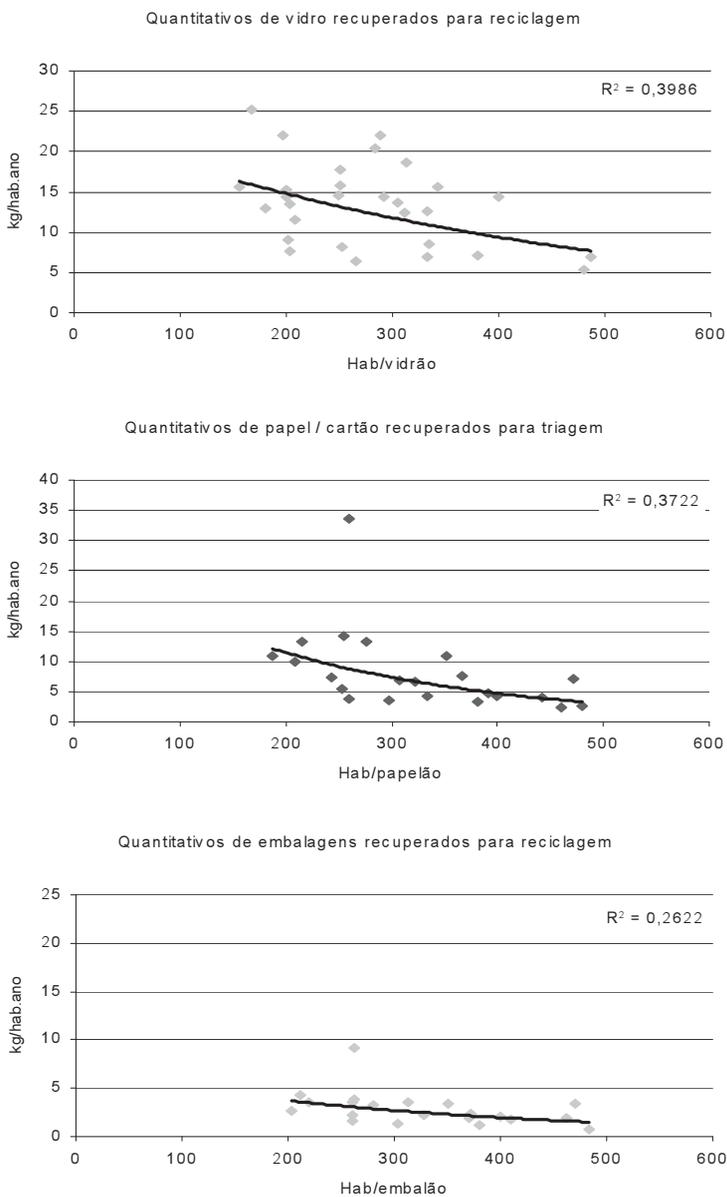


Figura 3 – Capitação de materiais retomados para reciclagem *versus* grau de cobertura com ecopontos (2007)

## **Remoção selectiva porta-a-porta**

A remoção selectiva porta-a-porta é o sistema que as experiências existentes têm apontado como permitindo atingir rapidamente quantidades mais elevadas de materiais recolhidos, devido a uma maior facilidade e comodidade de adesão por parte dos produtores, comparativamente a outros sistemas.

No entanto implica normalmente custos operacionais superiores, em função dos investimentos nos equipamentos de deposição e recolha e da maior utilização de mão-de-obra.

Verifica-se também, de forma geral, uma pior qualidade dos materiais, conduzindo a uma maior quantidade de refugos na operação de triagem. Com efeito, é usual que nestas situações haja menos cuidado na separação na origem, face à facilidade da deposição.

É contudo um esquema particularmente adequado a uma malha urbana de habitações unifamiliares, em que é fácil a utilização de contentores individuais ou sacos, bem como, em escolas, estabelecimentos comerciais ou produtores específicos (canal Horeca, por exemplo) em que existe uma concentração significativa de materiais a recolher.

É também adequado a edifícios em altura, desde que existam condições para a instalação dos contentores, caso dos compartimentos de resíduos. Nesta situação a utilização pelos moradores de um mesmo edifício de contentores colectivos parqueados em compartimentos próprios, que são apresentados à recolha, é por vezes complementada com vantagem com a atribuição a cada fogo de contentores de pequena capacidade, que são utilizados no acondicionamento individual e no transporte dos materiais separados até aos colectivos.

Diferentes tipos de equipamentos de deposição podem ser utilizados no sistema porta-a-porta (Figura 4, Figura 5):

- **Contentores móveis**

Utilizam-se em sistema de recolha mono ou multimaterial e apresentam-se equipados com rodas giratórias.

Encontram-se disponíveis no mercado em vários formatos (fundo circular ou quadrado; um ou dois compartimentos), cores e capacidades (as mais comuns de 80, 120, 240 e 360 litros), sendo normalmente em plástico (polietileno).



Figura 4 – Exemplo de modelos de contentores utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de papel/cartão (azul) e embalagens (amarelo) em compartimentos de resíduos (concelho de Matosinhos) (Ambirumo)

O sistema de recolha mais simples utiliza dois contentores, um para os recicláveis e outro para os não recicláveis, que podem ser recolhidos sem adição de circuitos (recolha por substituição), geralmente em viaturas de remoção convencionais. No entanto este esquema implica uma maior complexidade na triagem a jusante.



Figura 5 – Exemplo de modelos de contentores utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de recicláveis (contentor azul) em compartimentos de resíduos (concelho de Oeiras) (Ambirumo)

Outro tipo de sistema utiliza contentores multicompartimentados, sendo cada compartimento destinado à recolha de um ou vários materiais. Assim, num único contentor é possível a recolha conjunta de diversos resíduos, o que proporciona uma diminuição dos custos operacionais. Contudo, em função da diferente produção temporal

dos materiais, acontece geralmente que na recolha algum dos compartimentos se apresente apenas parcialmente ocupado.

Os contentores podem ser individuais ou colectivos, dependendo da estrutura urbana e do espaço disponível por habitação ou edifício.

- **Caixas ou cestos de plástico**

São recipientes em fibra plástica, com secção rectangular e capacidades que variam tipicamente entre 20 e 70 litros, de fácil acondicionamento no interior das habitações (Figura 6).



Figura 6 – Exemplo de modelos de cestos utilizados para a recolha selectiva porta-a-porta de recicláveis (concelho de Loures) (SMAS Loures)

Podem ser utilizados como armazenamento temporário, sendo depois despejados em contentores colectivos de maior capacidade ou apresentados no exterior das habitações directamente à recolha.

- **Sacos não reutilizáveis**

Podem ser de plástico ou papel impermeabilizado, e apresentar diversas capacidades, com formatos e dimensões normalizados.

Nos Quadros 1 a 3 apresentam-se comparativamente as vantagens/inconvenientes dos vários equipamentos de deposição quando utilizados em sistema de recolha porta-a-porta.

Em qualquer caso, a escolha dos equipamentos de deposição a utilizar deve ter em conta:

- dimensões (tamanho, peso, capacidade) adequadas ao tipo e quantidade dos materiais a que se destinam;
- compatibilidade com as viaturas de recolha;
- resistência a produtos químicos, radiações solares e variações de temperatura;

- *design* que confira segurança, conforto e facilidade de manuseamento, quer para o utilizador, quer para o operador da recolha.

Quadro 1 – Deposição selectiva em contentores móveis – vantagens / inconvenientes

	Vantagens	Inconvenientes
Contentor simples	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Adaptado aos veículos de recolha indiferenciada.</li> <li>– Dispensa treino suplementar da equipa de recolha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A adição de um segundo contentor tem custos elevados e implica maior dificuldade de acondicionamento no interior das habitações.</li> <li>– Não permite a inspecção visual dos materiais pelo operador e a remoção de objectos não recicláveis.</li> </ul>
Contentor multicompartimentado	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Custos globais de aquisição inferiores.</li> <li>– Menor espaço total de armazenamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maior probabilidade de contaminação dos materiais recicláveis.</li> <li>– Maior possibilidade de encravamento dos materiais.</li> </ul>

Quadro 2 – Deposição selectiva em cestos plásticos – vantagens / inconvenientes

Vantagens	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Custos de aquisição pouco elevados.</li> <li>– Eficiente acondicionamento no interior das habitações.</li> <li>– Assegura uma melhor qualidade dos materiais recolhidos.</li> <li>– Permite uma melhor identificação e fácil remoção dos contaminantes.</li> <li>– Custos de processamento menores.</li> <li>– A participação dos residentes é qualitativamente melhor, devido ao efeito de <i>feedback</i> e pressão social.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– A gama de materiais e o volume de resíduos a recolher é limitado pelo tamanho da caixa.</li> <li>– As embalagens devem ser previamente passadas por água.</li> <li>– Frequência de recolha elevada.</li> <li>– Custos de recolha elevados.</li> <li>– Eficiência de recolha baixa.</li> <li>– O desvio dos contentores para outras utilizações é frequente.</li> </ul>

Quadro 3 – Deposição selectiva em sacos – vantagens / inconvenientes

	Vantagens	Inconvenientes
Para o produtor	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Eficientes em termos de acondicionamento no interior das habitações.</li> <li>– Fácil transporte para o exterior.</li> <li>– Eliminam a operação de recolha do recipiente de deposição.</li> <li>– Dispensam a lavagem e protecção do recipiente.</li> <li>– Reduzem a atracção de vectores de doença e o eventual mau cheiro.</li> <li>– Evitam o ruído na descarga para o veículo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Necessidade de suportes para facilitar o seu enchimento e armazenamento.</li> <li>– Acumulação de resíduos no interior da habitação.</li> <li>– Espalhamento do lixo na via pública, quando sujeitos a actos de vandalismos ou danificados por animais.</li> <li>– Desaconselháveis para a deposição de vidro, pelos riscos associados.</li> </ul>
Para o serviço de recolha	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduzem o tempo de recolha.</li> <li>– Reduzem a produção de ruído na operação de descarga.</li> <li>– Suprimem o regresso do recipiente e sua lavagem.</li> <li>– Provocam menor fadiga ao pessoal.</li> <li>– A permanência de recipientes na via pública é minimizada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Maiores despesas de aquisição e distribuição.</li> <li>– Inconveniente no caso de tratamento por compostagem.</li> </ul>

A opção pelos diferentes sistemas implica que as viaturas de recolha sejam compatíveis com o tipo de recipientes utilizados para a deposição de materiais (Figura 7).

Para além de viaturas convencionais de recolha dos resíduos, equipadas com sistemas de elevação de contentores de várias capacidades, na situação dos contentores compartimentados há que recorrer a viaturas específicas adaptadas à recolha bifluxe, dispondo para o efeito de dois compartimentos independentes para fracções distintas de materiais a recolher.

Nestes casos, a sua concepção deve garantir que não haja desequilíbrios na estrutura da viatura devido a diferentes graus de enchimento dos compartimentos.



Figura 7 – Exemplo de viaturas utilizadas na recolha em função da tipologia de contentores (SMAS Loures)

### **Remoção selectiva em ecocentros**

Os ecocentros (Figura 8), bastante generalizados em Portugal, são infra-estruturas que, embora não tendo como objectivo principal a deposição dos materiais recicláveis provenientes das habitações, também contribuem para este fim.

Efectivamente, para além de resíduos que pelas suas dimensões ou características não possam ser removidos pelos circuitos normais de recolha, estão preparados para a recepção de materiais com viabilidade de recuperação e reciclagem, oriundos quer de pequenas entidades produtoras, quer dos próprios munícipes – papel e cartão, vidro, plásticos, sucata ferrosa e não-ferrosa, madeiras.

Com este esquema de deposição obtêm-se materiais com qualidade superior à dos provenientes da recolha selectiva de ecopontos ou porta-a-porta, em função da maior homogeneidade dos materiais entregues e dos critérios de aceitação e orientação na deposição, assegurados pelo operador do ecocentro.

Cumulativamente, face à grande capacidade dos contentores utilizados, obtêm-se um custo unitário de transporte mais baixo do que nos restantes sistemas de deposição.

Mas o recurso a estas infra-estruturas será menos comum para a deposição das fracções provenientes do fluxo doméstico.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 – Aspectos de um ecocentro

(a) portaria (b) zonas de deposição devidamente identificadas

(c) contentores para os diferentes materiais (Ambirumo)

### Síntese comparativa

No Quadro 4 sistematizam-se alguns factores comparativos entre os sistemas de recolha selectiva por ecopontos e em porta-a-porta.

Na realidade não é possível apontar nenhuma destas modalidades como a preferível, assumindo antes cada uma delas maior adaptabilidade a determinados factores específicos e tornando-se, no seu conjunto, de uma forma geral complementares.

Quadro 4 – Comparação de sistemas de recolha selectiva

		<b>Ecopontos</b>	<b>Porta-a-porta</b>
<b>Qualidade do serviço para o utilizador</b>	Proximidade	– fraca, implicando grande cuidado na escolha das localizações, no arranjo dos locais e na sinalética	– forte
	Disponibilidade	– permanente	– função da frequência de recolha
	Adesão	– progressiva – implica acção de sensibilização de longa duração pois a adesão demora a obter-se	– rápida: o sistema favorece a aprendizagem entre vizinhos, suscita emulação e adesão
<b>Condicionantes urbanísticas</b>	Ocupação do espaço público	– forte em <i>habitat</i> urbano denso	– temporária
	Incomodidades	– limpeza necessária, para evitar que os locais se transformem em pequenas lixeiras – ruído, por vezes, no caso dos contentores de vidro (insonorização possível)	– perturbações de tráfego e ruído mais prováveis – menor flexibilidade no tipo de recipientes a adoptar (condicionados pela tipologia das habitações)
<b>Impactes sobre os factores de custo</b>	Investimentos	– menores que no porta-a-porta e directamente proporcionais à densidade da implantação	– fortes, variáveis com os esquemas de recolha e da triagem
	Qualidade dos materiais	– boa	– variável, exigindo uma forte sensibilização dos utilizadores e operadores
	Rendimento da recolha selectiva	– muitas vezes baixo no arranque, principalmente em meio urbano – exige sensibilização importante e contínua, dado que o rendimento aumenta lentamente	– importante desde o arranque

### 2.2.3 A recolha selectiva de RUB

A estratégia nacional de desvio de RUB de aterro aponta (entre outras medidas) para a implementação progressiva da recolha selectiva deste tipo de resíduos, na perspectiva de se assegurar um material a encaminhar para as instalações de valorização orgânica isento de contaminantes, e desta forma diminuir a necessidade de pré-tratamento e garantir a obtenção de um composto de qualidade.

Este tipo de recolha está ainda pouco generalizada no País, incidindo, nas situações existentes, sobretudo na recolha de resíduos orgânicos provenientes de grandes produtores – mercados, sector da restauração – em detrimento dos produzidos nas habitações.

Por seu turno a situação na UE é bastante díspar, quer quanto ao grau de implementação, quer quanto aos esquemas adoptados.

Os factores chave que têm sido relevados para a implementação da recolha de RUB na origem incluem (ACR+, 2005):

- a adaptação ao contexto local;
- diferentes abordagens para os resíduos de cozinha e para os resíduos verdes;
- esquemas de deposição e recolha o mais amigáveis possível.

As soluções a adoptar devem efectivamente ter em atenção as características locais, em particular a densidade populacional e estrutura da habitação, as condições climáticas e o sistema existente para as restantes fracções dos resíduos.

Os resíduos verdes, quando não encaminhados para compostagem caseira, são usualmente entregues em ecocentros ou objecto de recolha porta-a-porta, em geral a pedido.

Com efeito, apresentam características que justificam a sua recolha de forma individualizada. Assim, devido à produção sazonal (mais importante de Abril a Outubro) e geograficamente variável (menos significativa em zonas urbanas), a sua recolha pode ser limitada aos períodos e áreas em causa. Pode também ser mais espaçada que a recolha dos resíduos de cozinha, face à sua menor putrescibilidade e humidade, que não causam problemas de cheiros, atracção de vectores ou produção de lixiviados.

Para a recolha selectiva dos resíduos de cozinha e bem assim de outros resíduos orgânicos como os provenientes de mercados, feiras, centros de distribuição de produtos frescos, é mais usual a adopção de sistemas do tipo porta-a-porta, que permitem alcançar, comparativamente aos sistemas de deposição voluntária (como os contentores de grande capacidade colocados na via pública) um menor grau de contaminação dos resíduos separados e uma maior taxa de adesão dos produtores.

A deposição destes resíduos pode fazer-se com recurso a vários tipos de recipientes, como se indica no Quadro 5 para o caso de recolha em habitações.

Quadro 5 – Esquemas referenciados para a deposição selectiva de RUB de habitações

Baldes 7-10 L	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Utilizados nas próprias cozinhas das habitações, facilitam a separação dos resíduos alimentares durante e após a confecção das refeições.</li> </ul>
Baldes 15-30 L	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Permitem a verificação visual do conteúdo e uma recolha rápida.</li> <li>– Evitam a inclusão de materiais volumosos indesejáveis.</li> </ul>
Contentores com rodas 80–120 L  (ou capacidade superior em grandes edifícios)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Normalmente disponibilizados nas habitações a par de contentores idênticos para a fracção resto.</li> </ul>
Sacos de papel ou plásticos biodegradáveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mais caros do que os sacos plásticos convencionais, mas não necessitam como estes ser removidos na compostagem.</li> <li>– Os sacos de papel desintegram-se quando húmidos e não permitem a observação do conteúdo.</li> </ul>

No que se refere às viaturas de recolha, a garantia de estanqueidade da caixa é particularmente importante, para evitar escorrência de lixiviados destes resíduos.

A utilização de viaturas mistas, que recolhem em simultâneo mas de forma segregada a fracção orgânica e outro fluxo de materiais (selectivo ou indiferenciado), contribui para uma diminuição dos custos da recolha.

Em qualquer circunstância a recolha selectiva de RUB nas habitações impõe a organização de um esquema que facilite à população a separação na origem e favoreça assim a sua adesão, a par de uma forte componente de informação e sensibilização, de forma a assegurar taxas de recuperação significativas.

O sector da restauração é naturalmente um alvo interessante da recolha deste tipo de resíduos. A eficiência desta recolha nestes produtores será tanto maior quanto desde logo a concepção dos espaços e equipamentos destes estabelecimentos favoreçam o cumprimento de regras e praticas de gestão interna dos resíduos que promovam a deposição diferenciada das fracções valorizáveis, incluindo a orgânica.

## 2.3 Casos de estudo

Embora não haja muita informação consistente disponível que permita evidenciar um quadro objectivo de vantagens e desvantagens, condicionantes, rendimentos, indicadores de funcionamento e custos dos diferentes esquemas de recolha selectiva, referem-se nos pontos seguintes dados relevantes que foi possível coligir, mas de âmbito como se pode verificar bastante díspar:

- dados da LIPOR (Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto) relativos à evolução temporal de rendimentos obtidos na recolha selectiva multimaterial, por ecopontos e por porta-a-porta;
- dados do estudo «A Recolha Porta-a-Porta no Sistema de Recolha Indiferenciada de Resíduos Sólidos Urbanos», realizado em 2002 pelo ISCTE (Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa) para o INR (Instituto dos Resíduos);
- dados de custos médios das recolhas selectivas nos países da União Europeia, em 2002;
- dados do estudo «*Análisis Económico-Ambiental de la Recogida de Residuos de Envases*», realizado em 2003 pelo ISR-cer (Instituto para la Sostenibilidad de los Recursos).

### 2.3.1 LIPOR (2007)

Os projectos de recolha selectiva multimaterial da LIPOR, entidade responsável pela gestão, valorização e tratamento dos resíduos urbanos do grande Porto, incluem a recolha selectiva porta-a-porta, a recolha de ecopontos e ecocentros, para além de projectos específicos dirigidos fundamentalmente a pequenos nichos que não são abrangidos de forma eficaz pelos sistemas convencionais.

A recolha porta-a-porta abrangia seis zonas em 2007, com cerca de 60.000 habitantes.

Estas zonas congregam diferentes tipologias habitacionais, com predomínio de habitação em altura, em alguns casos com um número elevado de fogos, pelo que o modo de deposição de resíduos varia em função da tipologia dos edifícios das zonas-alvo, podendo ser por sacos, cestos ou contentores coloridos.

No Quadro 6 apresenta-se a frequência de recolha e os fluxos abrangidos pelo sistema porta-a-porta.

Quadro 6 – Frequência da recolha porta-a-porta

Município	Fluxos recolhidos	Frequência de recolha
Gondomar	embalagens e papel/cartão	semanal
Maia	embalagens e papel/cartão	semanal
	vidro	quinzenal
Matosinhos	embalagens e papel/cartão	semanal
Porto	embalagens e papel/cartão	semanal
Valongo	embalagens e papel/cartão	semanal

De acordo com o Plano de Estratégico para a Gestão Sustentável dos Resíduos Sólidos do Grande Porto para o período 2007–2016, a capitação da fracção embalagem para cada um dos concelhos abrangidos evoluiu de acordo com o gráfico da Figura 9.

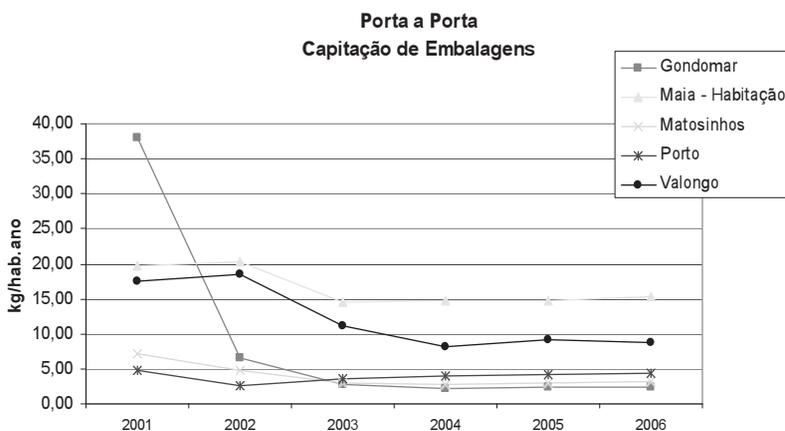


Figura 9 – Recolha selectiva porta-a-porta: capitação da fracção embalagem

(LIPOR, 2008)

Passado o período inicial destas recolhas, em que os procedimentos de separação estariam ainda mal apreendidos, verifica-se uma estabilização das capitações.

No que se refere à recolha selectiva de ecopontos, existem cerca de 2.850 unidades, contabilizando os ecopontos da via pública e os

ecopontos das escolas, num rácio de um ecoponto para 390 habitantes.

A frequência de recolha adoptada pelos diferentes Municípios apresenta algumas diferenças, conforme ilustrado no Quadro 7.

Quadro 7 – Frequência da recolha de ecopontos

Município	Frequência de recolha
Espinho	bissemanal
Gondomar	zona urbana – semanal zona rural – quinzenal
Maia	papel/cartão – semanal embalagens – semanal vidro – variável
Matosinhos	em geral bissemanal; situações excepcionais de recolha semanal e trissemanal
Porto	papel/cartão – bissemanal embalagens – bissemanal vidro – semanal
Póvoa de Varzim	centro da cidade: papel/cartão e embalagens – trissemanal
	restantes freguesias: papel/cartão e embalagem – semanal; vidro – quinzenal
Valongo	trissemanal
Vila do Conde	em geral semanal; maior frequência nas freguesias do litoral

Em termos de capitações, os gráficos da Figura 10 ilustram a variação anual para cada um dos fluxos recolhidos por esta via.

É patente um crescimento das capitações a partir de 2003, associado a uma maior cobertura da população, através do aumento regular dos equipamentos colocados no terreno.

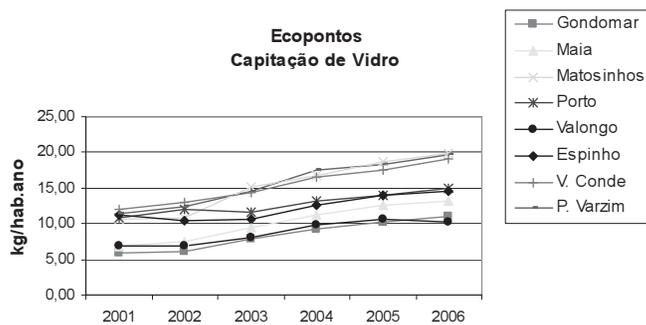
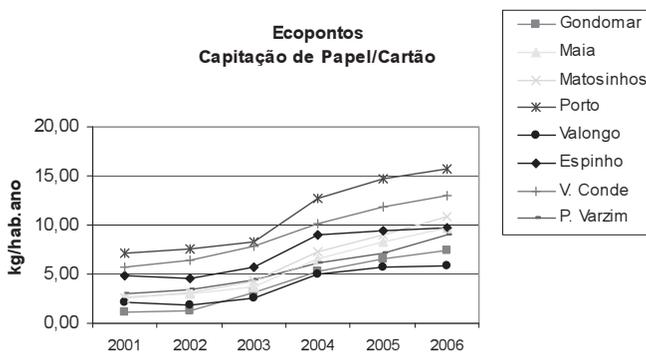
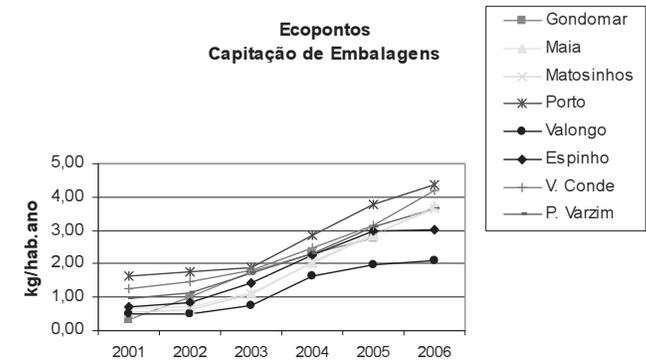


Figura 10 – Recolha selectiva de ecopontos: capitação nos vários municípios

(LIPOR, 2008)

Em termos médios verifica-se que a recolha porta-a-porta permite recolher maiores quantidades *per capita*, comparativamente com o esquema de ecopontos (Figura 11).

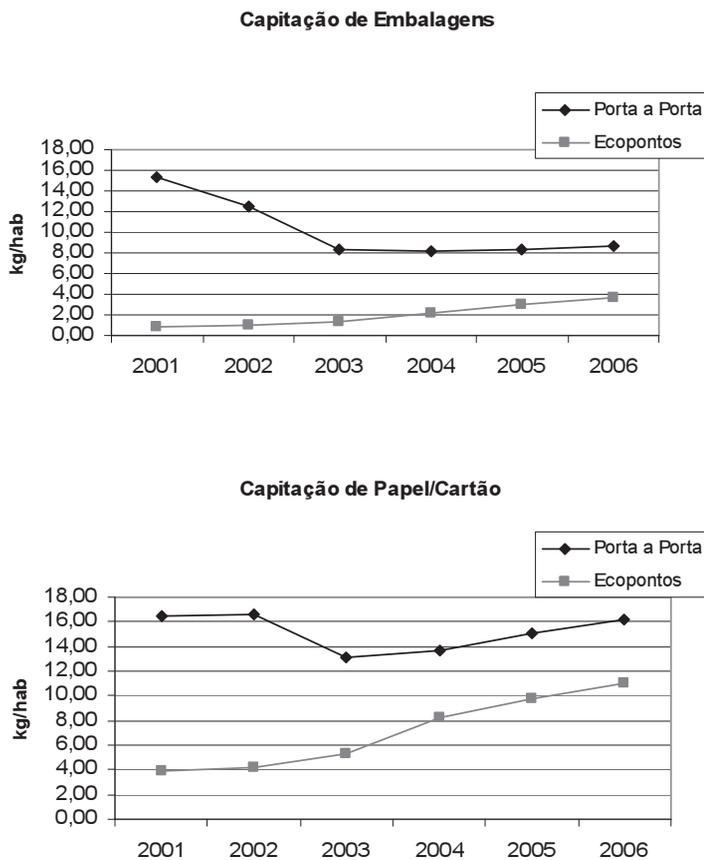


Figura 11 – Capitações na recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta (LIPOR, 2008)

### 2.3.2 Estudo ISCTE (2002)

Neste estudo faz-se uma análise comparativa entre a recolha por ecopontos e porta-a-porta, em três sistemas de gestão de resíduos com estes dois tipos de recolha – Loures, Maia e Oeiras.

No Quadro 8 e no Quadro 9 sistematizam-se, respectivamente, as características e indicadores apurados relativos a estes sistemas de recolha.

Da análise de resultados podem-se apresentar em síntese as seguintes conclusões.

Verifica-se que os circuitos de recolha porta-a-porta têm trajectos mais curtos do que os de ecopontos, com um tempo de execução menor, com excepção da recolha bifluxo papel/embalagens no concelho de Oeiras, e conseqüentemente um menor consumo de combustível. No entanto, o consumo de combustível por quilómetro e por quilograma recolhido é superior no caso da recolha porta-a-porta.

As equipas da recolha porta-a-porta utilizam um número maior de elementos do que as de recolha por ecopontos.

Constatam-se taxas de enchimento das viaturas diferentes entre os dois sistemas de recolha, sendo no caso do porta-a-porta em regra bastante inferior à dos ecopontos. De realçar o valor apresentado para o vidro dos ecopontos no concelho de Loures, acima dos 100%, resultante da interrupção do circuito para descargas intermédias.

Os quantitativos recolhidos pelo sistema porta-a-porta são, de um modo geral, inferiores aos recolhidos através dos ecopontos. Esta situação decorre fundamentalmente do facto de o sistema de ecopontos recolher maioritariamente vidro e papel/cartão, sendo a fracção embalagens diminuta, enquanto a recolha porta-a-porta a fracção embalagens apresenta maior expressão, quando comparada com os restantes fluxos.

A qualidade dos materiais da recolha porta-a-porta é menor quando comparada com a dos ecopontos, conforme evidenciado pelas taxas de refugo – Quadro 10.

Quadro 8 – Características dos sistemas de recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta

	Loures						Maia						Oeiras					
	Tipo de material						Tipo de material						Tipo de material					
	V	P	E	Bfluxo VE	Total		V	P	E	Bfluxo PE	Total		V	P	E	Bfluxo PE	Total	
Nº circuitos/sistema recolha	24,00	48,00	40,00		112,00		9,00	9,00	9,00		27,00		4,00	4,00			8,00	
Porta-a-porta	6,00	40,00	5,00	34,00	85,00				2,00	6,00						8,00	8,00	
Total	30,00	88,00	45,00	34,00	197,00		9,00	9,00	2,00	33,00			4,00	4,00	0,00	8,00	16,00	
Nº de km médios do 1º ao último ponto de recolha	41,00	43,42	50,40		45,39		38,00	52,78	48,00	46,26			43,75	32,90			38,32	
Porta-a-porta	15,67	24,63	11,60	15,79	19,69				12,00	12,33						22,69	22,69	
Último ponto de recolha	279,50	303,56	296,38		295,87		219,44	292,78	265,00	259,07			77,50	95,25			86,38	
Porta-a-porta	122,50	170,00	189,00	170,24	167,81				235,00	240,83						139,00	139,00	
Tempo médio entre o 1º e o último ponto de recolha (mn)	7 802,50	5 232,50	1 364,50		4 401,79		8 428,89	3 460,00	931,11	4 273,33			8 015,00	2 665,00			5 340,00	
Quantitativos médios recolhidos (kg)	2 536,67	1 925,50	2 024,00	605,88	1 500,71				2 850,00	3 490,00						1 808,00	1 808,00	
Porta-a-porta	2,71	2,94	2,63		2,78		2,00	2,00	2,00	2,00			3,00	2,75			2,87	
Último ponto de recolha	2,83	2,63	2,80	2,97	2,79				3,00	3,00						4,00	4,00	
Porta-a-porta	103,01	79,52	62,08		76,33		120,74	57,66	62,07	80,16			64,17	21,85			43,01	
Taxa média de enchimento da viatura (%)	43,74	26,64	58,87	15,55	25,31				25,90	31,72						25,27	25,27	
Porta-a-porta	30,39	42,66	38,17		38,49		47,38	58,32	57,75	54,48						53,50	53,50	
Ecopontos	22,02	26,59	19,16	22,57	24,22				16,33	18,18						36,88	36,88	
Combustível médio gasto por circuito (L)	2,00	4,00	3,25		3,30		8,00	8,00	8,00	8,00						4,00	4,00	
Porta-a-porta	7,33	4,00	5,80	4,00	4,34											8,00	8,00	
Frequência de recolha (nº vezes/mês)																		

Quadro 9 – Indicadores da recolha selectiva de ecopontos e porta-a-porta

Indicador	Esquema de recolha	Loures						Maia						Oeiras					
		Tipo de material						Tipo de material						Tipo de material					
		V	P	E	Bifluxe VE	Total	V	P	E	Bifluxe PE	Bifluxe P/VE	Total	V	P	Bifluxe PE	Total			
km/min	Ecopontos	0,15	0,14	0,17		0,15	0,17	0,18	0,18		0,18	0,17	0,18	0,18	0,35	0,44			
	Porta-a-porta	0,13	0,14	0,06	0,09	0,12										0,16			
km/h	Ecopontos	8,80	8,58	10,20		9,20	10,39	10,82	10,87		10,71	33,87	20,72			26,62			
	Porta-a-porta	7,68	8,69	3,68	5,57	7,04					3,06	3,07			9,79	9,79			
kg/km	Ecopontos	190,30	120,51	27,07		96,98	221,81	65,56	19,40		92,38	183,20	81,00			139,95			
	Porta-a-porta	181,03	74,12	174,48	51,04	76,22					237,50	279,20	0,00		79,68	79,68			
kg/h	Ecopontos	1 674,96	1 034,23	276,23		892,65	2 304,65	709,06	210,62		989,69	6 205,16	1 678,74			3 709,19			
	Porta-a-porta	1 389,39	644,29	642,54	284,03	536,57					727,66	859,08	0,00		780,43	780,43			
kg/trabalhador	Ecopontos	2 879,15	1 778,76	518,82		1 583,38	4 214,45	1 730,00	465,56		2 136,67	2 671,67	969,09			1 860,63			
	Porta-a-porta	1 002,36	694,11	722,86	271,34	537,89					950,00	1 163,33	0,00		452,00	452,00			
L/km	Ecopontos	0,74	0,98	0,76		0,85	1,25	1,10	1,20		1,18	0,00	1,63			1,40			
	Porta-a-porta	1,41	1,08	1,65	1,43	1,23					1,53	1,45	1,48			1,63			
L/kg	Ecopontos	0,00	0,01	0,03		0,01	0,01	0,02	0,06		0,01	0,00	0,02			0,01			
	Porta-a-porta	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02					0,01	0,01	0,63			0,02			

Quadro 10 – Taxas de refugo

Lipor	Tratolixo	Valorsul
Global:	Ecopontos:	Global:
Papel/cartão – 5%	Papel/cartão – 11%	Papel/cartão – 1%
Embalagens – 53%	Embalagens – 38%	Embalagens – 33%
	Porta-a-porta:	
	Embalagens – 52%	

De acordo com o estudo, a justificação para os valores apresentados prende-se com o facto de, no caso da Lipor, o sistema de recolha porta-a-porta da Maia, correspondente a 73% do total da população abrangida por este sistema, ser responsável por cerca de 40% do total de plástico/metall recolhido em toda a área geográfica da Lipor.

No caso da Tratolixo, o concelho de Oeiras, onde se pratica o sistema de recolha porta-a-porta, abrangendo 21% da população existente na área de intervenção da Tratolixo, tem também um peso significativo, sendo responsável por cerca de 76% do total de plástico/metall recolhidos em toda a área geográfica da Tratolixo, contribuindo para as taxas de refugo apuradas.

Por outro lado, o valor mais baixo apresentado pela Valorsul deriva fundamentalmente de apenas 60.000 habitantes (6% da população total do Sistema) estarem abrangidos por este esquema de recolha (Loures). As quantidades recolhidas por esta via são diminutas quando comparadas com a totalidade de resíduos recolhidos no Sistema (5,8%, contabilizando o vidro).

### 2.3.3 Custos na UE (2002)

Em 2002, num estudo financiado pela Comissão Europeia, fez-se a primeira análise exaustiva dos custos da gestão dos resíduos na Europa, apoiado em dados coligidos por doze gabinetes de consultoria e institutos de investigação implantados em diferentes países da União.

Os valores médios e os intervalos de variação do custo da recolha selectiva de papel, de vidro e de embalagens e da recolha indiferenciada são apresentados nas figuras seguintes.

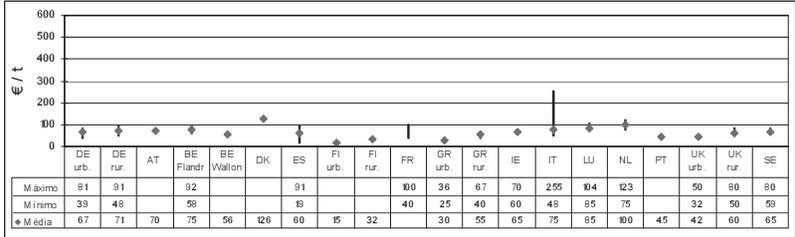
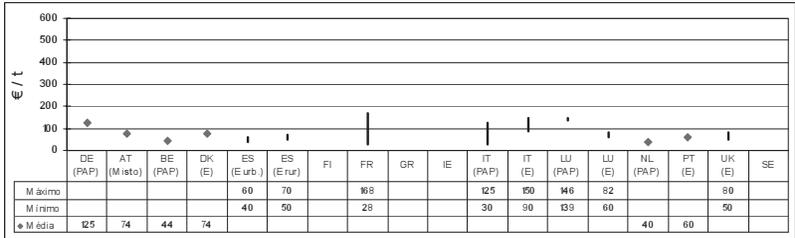
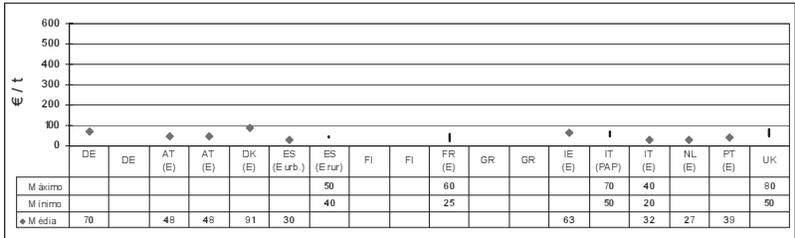


Figura 12 – Custo da recolha indiferenciada



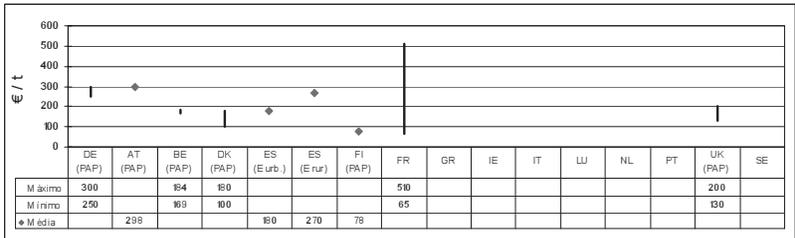
PAP – recolha porta-a-porta E – ecopontos

Figura 13 – Custo da recolha selectiva de papel/cartão



PAP – recolha porta-a-porta E – ecopontos

Figura 14 – Custo da recolha selectiva de vidro



PAP – recolha porta-a-porta E – ecopontos

Figura 15 – Custo da recolha selectiva de embalagens

Estes valores devem ser olhados com alguma reserva, dadas as dificuldades na comparação, pelas diferenças que ocorrem, designadamente a nível de:

- modalidades e frequências de recolha;
- materiais recolhidos;
- taxas de recuperação dos materiais recolhidos em conjunto;
- equipamentos e infra-estruturas da recolha.

### **2.3.4 Estudo ISR-cer (2003)**

Este estudo foi realizado na perspectiva de constituir um documento técnico de referência no que concerne à economia ambiental dos sistemas actuais de recolha de resíduos de embalagens em Espanha (apenas resíduos de embalagens ligeiras domésticas – alumínio, aço, plástico e cartão de bebidas – provenientes da recolha selectiva multimaterial).

Envolve a caracterização dos actuais esquemas de recolha destes resíduos, a definição dos parâmetros a considerar no cálculo do sobrecusto da recolha selectiva relativamente à indiferenciada, na base de níveis de serviço com eficiência e qualidade pré-definidos, e respectivo modelo de contrapartidas, e a comparação custo/eficiência ambiental dos diversos esquemas de recolha.

Relevam-se seguidamente alguns destes aspectos.

#### **Sistemas de recolha**

A recolha selectiva de embalagens é da responsabilidade das entidades municipais, sendo efectuada por elas directamente ou por prestação de serviços de empresas privadas.

Muitos dos municípios, para ganhar efeito de escala, estão agrupados, constituindo áreas territoriais de maior dimensão, as designadas Unidades de Gestão.

A maioria dos esquemas de recolha de embalagens existentes enquadram-se nos seguintes tipos de sistemas, caracterizados no Quadro 11:

- sistema húmido-seco;
- sistemas de recolha específicos de embalagens, com recurso aos designados contentores de tampa aberta, de tampa fechada e tipo *igloo*;

- sistemas mistos.

Os sistemas existentes são também referenciados pelo tipo de contentores utilizados.

Quadro 11 – Tipologia dos sistemas de recolha

Sistema húmido-seco	Sistemas de recolha específicos de embalagens (contentores de tampa aberta, de tampa fechada e tipo <i>igloo</i> )	Sistemas mistos
<p>Baseia-se na classificação e separação dos resíduos em duas fracções:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fracção orgânica ou húmida – inclui todos os resíduos putrescíveis</li> <li>• fracção inorgânica ou seca – inclui o resto dos resíduos, não putrescíveis (resíduos de embalagens, têxteis, inertes, etc.)</li> </ul> <p>Cada uma das fracções é recolhida em contentores de cores diferentes situados próximo das habitações.</p> <p>A frequência de recolha dos dois tipos de contentores é, de uma forma geral, diária.</p> <p>Em sentido estrito, este sistema não pode ser considerado como um sistema de recolha de embalagens, uma vez que o objectivo prioritário é a recolha da fracção orgânica.</p>	<p><u>Recolha selectiva no passeio</u></p> <p>Os contentores para embalagens localizam-se junto dos contentores para a fracção resto, perto das habitações, normalmente a distâncias não superiores a 100 m. Um caso particular deste sistema de recolha é a recolha «porta-a-porta».</p> <p>A recolha dos contentores pode ser diária quando se realiza uma recolha selectiva em paralelo ou de forma simultânea à recolha tradicional.</p> <p>Em algumas cidades faz-se a recolha de três fracções: matéria orgânica, embalagens e resto.</p> <p>Neste tipo de recolha utilizam-se contentores de tampa aberta ou de tampa fechada.</p> <p><u>Recolha selectiva em áreas de contribuição voluntária</u></p> <p>Os contentores para embalagens estão agrupados num mesmo local com contentores destinados a outras fracções valorizáveis.</p> <p>São de grande capacidade, do tipo <i>igloo</i> ou tampa fechada.</p> <p>Em geral há três contentores de três cores:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– amarelo para as embalagens ligeiras, azul para embalagens de cartão e papel, e verde para vidro.</li> </ul> <p>O grau de cobertura é de um contentor para cada 500 habitantes em zonas urbanas.</p> <p>A frequência de recolha é em geral semanal.</p>	<p>Combinam simultaneamente a recolha no passeio (para a matéria orgânica e para o resto) com uma recolha em áreas de contribuição voluntária (para vidro, papel/cartão e embalagens ligeiras).</p>

Os sistemas de tampa fechada (Figura 16) e *igloo* (Figura 17) são os mais utilizados, quer em número de Unidades de Gestão (Figura 18), quer em número de habitantes abrangidos (Figura 19).

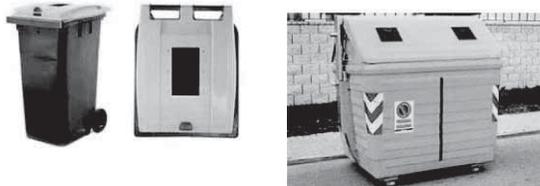


Figura 16 – Modelos de contentores de tampa fechada



Figura 17 – Modelo de contentor tipo *igloo*

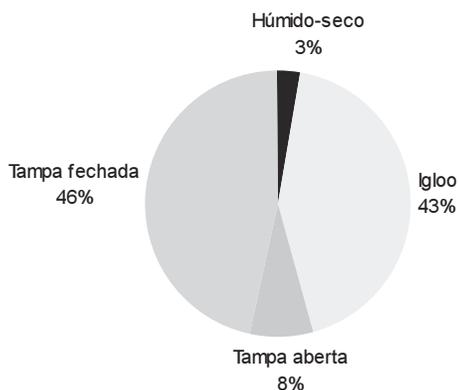


Figura 18 – Distribuição do número de sistemas de recolha pelas Unidades de Gestão analisadas (Ambirumo)

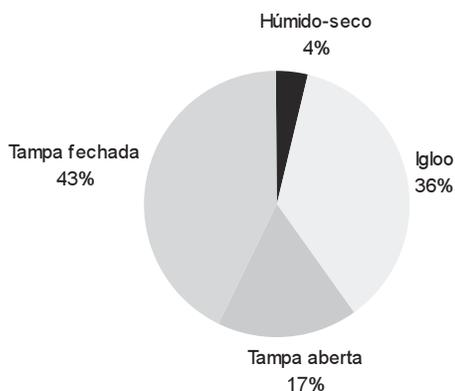


Figura 19 – População abrangida por sistema de recolha

O sistema húmido-seco é o menos utilizado, existindo apenas em 3% das Unidades de Gestão e cobrindo somente 4% da população.

Por sua vez, o sistema de tampa aberta (Figura 20), embora presente num número de Unidades de Gestão relativamente reduzido, abrange um número de habitantes mais significativo.



Figura 20 – Modelo de contentor de tampa aberta (Ambirumo)

Dos dois sistemas mais utilizados, o de tampa fechada é mais representativo em zonas urbanas,<sup>8</sup> enquanto o sistema *igloo* está mais presente em zonas rurais<sup>9</sup> e semi-urbanas.<sup>10</sup>

<sup>8</sup> N.º de habitantes  $\geq 50.000$  e todas as capitais de província.

<sup>9</sup> N.º de habitantes  $< 5.000$ .

<sup>10</sup>  $20.000 \leq n.º$  de habitantes  $< 50.000$

O Quadro 12 compara as vantagens/desvantagens destes sistemas.

Quadro 12 – Vantagens/Desvantagens dos sistemas de recolha

Húmido-seco	Tampa aberta no passeio	Tampa fechada	Igloo
<p>– Apresenta a vantagem da matéria orgânica estar menos contaminada, o que permite a sua utilização directa para valorização orgânica.</p> <p>– É um sistema cómodo, pela proximidade dos meios de deposição às habitações.</p> <p>– Embora se recolham grandes quantidades de matéria seca, as embalagens encontram-se mais contaminadas, o que diminui o rendimento e encarece a recuperação dos materiais.</p>	<p>– Como vantagens são de citar a proximidade das habitações e a maior comodidade para os cidadãos comparativamente com o sistema de tampa fechada.</p> <p>– A quantidade de resíduos de embalagem recolhidos é maior; apresentam-se no entanto mais contaminados do que no sistema de tampa fechada ou <i>igloo</i>, pelo que são recuperados menos materiais e de pior qualidade.</p> <p>– A frequência de recolha dos contentores é maior do que no caso de contentores de tampa fechada (dada a sua menor capacidade), pelo que os custos do sistema são superiores.</p>	<p>– Estes contentores podem ser utilizados quer na recolha de passeio, quer em áreas de contribuição voluntária.</p> <p>– Em ambos os casos a qualidade dos materiais recolhidos é elevada.</p> <p>– A frequência de recolha é mais espaçada.</p> <p>– O ponto fraco deste sistema relaciona-se com a necessidade de maior sensibilização dos cidadãos para uma segregação dos resíduos de embalagens com dimensões adaptadas às dimensões das bocas dos contentores.</p>	<p>– Este sistema é muito semelhante ao sistema de tampa fechada.</p> <p>– É mais económico, uma vez que a frequência de recolha pode ser inferior à dos contentores anteriores, e o material recolhido contém menos impurezas.</p> <p>– Como inconveniente é de salientar a necessidade do cidadão se ter de deslocar a áreas de contribuição voluntária.</p> <p>– Outra debilidade do sistema prende-se com a necessidade de limpeza, devido a escorrências derivadas da deposição de embalagens de maiores dimensões fora do contentor.</p>

### **Análise custo/eficiência ambiental dos sistemas de recolha de embalagens**

Esta análise teve por base o estabelecimento de um conjunto de cenários em função dos agregados populacionais – zona urbana, zona semi (integra as zonas semi-rural e semi-urbana) e zona rural – e do tipo de recolha – *igloo*, contentores de tampa fechada de carga lateral (TFCL), contentores de tampa fechada de carga traseira (TFCT), contentores de tampa aberta (TA), sistema húmido-seco (H-S).

Para o cálculo da eficiência ambiental foram consideradas como representativas as seguintes variáveis:

- consumo de combustíveis fósseis em MJ/t de resíduos de embalagens recuperados
- contribuição para o efeito de estufa em kg CO<sub>2</sub> equivalente emitido/t de resíduos de embalagens recuperados

Na Figura 21 e Figura 22 apresentam-se os valores destas duas variáveis para os diferentes sistemas de recolha analisados.

Observa-se que o sistema *igloo* e o de tampa fechada (independentemente do tipo de carga) são os que apresentam valores mais baixos nos três tipos de agregados habitacionais.

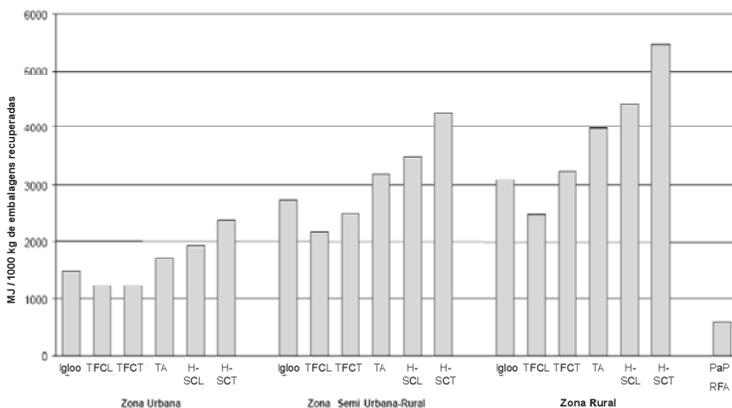


Figura 21 – Consumo de energia fóssil por sistema de recolha

(ISR, 2003)

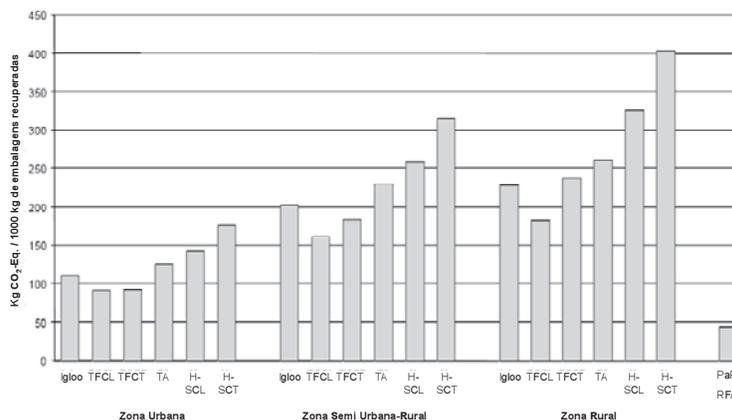


Figura 22 – Contribuição de cada sistema de recolha para o efeito de estufa

(ISR, 2003)

Foi igualmente elaborado um modelo de custo associado à eficiência ambiental para comparação dos sistemas de recolha implementados.

Os custos foram calculados em €/t de resíduos de embalagens recuperados em cada sistema, discriminados por custos associados ao pessoal, às viaturas e aos contentores, incluindo uma percentagem associada a gastos gerais.

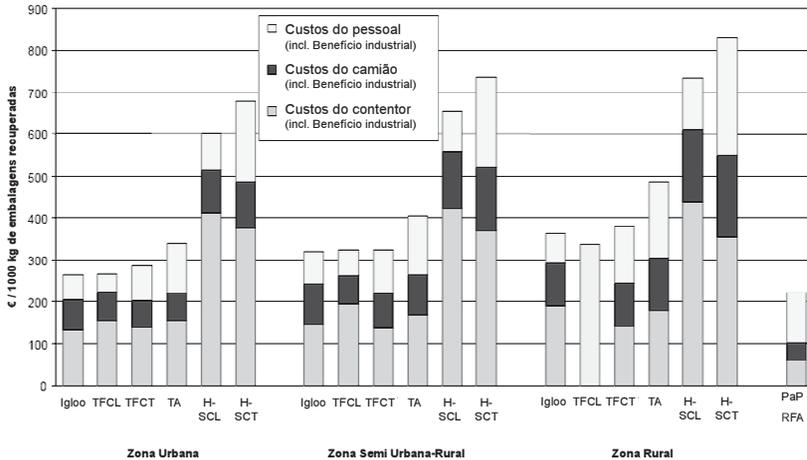


Figura 23 – Custos associados aos sistemas de recolha

(ISR, 2003)

No Quadro 13 e no Quadro 14 apresenta-se, respectivamente, uma síntese da análise da eco-eficiência dos sistemas de recolha implementados e dos aspectos relacionados com as eficiências dos vários sistemas de recolha face à tipologia do agregado habitacional.

Quadro 13 – Conclusões da análise de eco-eficiência

Análise ambiental	Análise económica	Eco-eficiência
<p>– As diferenças entre os sistemas de recolha dentro de uma determinada zona dependem grandemente dos circuitos diários de recolha e da qualidade e quantidade de resíduos de embalagens recolhidas e recuperadas.</p> <p>– Combinando a quantidade recolhida e a qualidade dos resíduos de embalagens recuperados, o sistema de tampa fechada apresenta-se como o mais vantajoso do ponto de vista ambiental, seguindo-se o sistema <i>igloo</i>.</p>	<p>– Em relação aos resíduos de embalagens recuperados é possível identificar as mesmas características decorrentes da análise ambiental. No entanto, o sistema de tampa aberta aproxima-se mais dos sistemas <i>igloo</i> e tampa fechada.</p> <p>– No sistema de carga lateral, os custos mais elevados estão associados às viaturas e aos contentores, e no caso de carga traseira ao pessoal. No entanto, no caso de carga lateral, a diminuição dos custos associados ao pessoal é maior que os custos em viaturas e contentores.</p>	<p>– Os sistemas utilizados em zonas urbanas são mais eco-eficientes do que os das zonas semi e rurais, devido ao facto das primeiras apresentarem percursos de recolha com distâncias mais curtas.</p>

Quadro 14 – Eficiência dos sistema de recolha em função do agregado habitacional

Zona urbana	Zona semi	Zona rural
<p>– O sistema com melhores prestações do ponto de vista económico e de eficiência ambiental é o de tampa fechada com carga lateral, uma vez que apresenta o custo mais baixo associado a um menor consumo de combustíveis fósseis e menor contribuição para o efeito de estufa.</p> <p>– O sistema de tampa fechada com carga traseira apresenta uma eficiência semelhante ao anterior, mas com custos mais elevados.</p> <p>– O sistema <i>igloo</i> apresenta custos semelhantes ao de tampa fechada com carga lateral, mas menor eficiência.</p> <p>– O sistema de tampa aberta detém uma eficiência sensivelmente menor que os anteriores.</p>	<p>– Em termos de eficiência o sistema <i>igloo</i> revela-se o mais vantajoso, seguido do sistema de tampa fechada com carga lateral e do de tampa fechada com carga traseira, todos eles com custos semelhantes, e por último o sistema de tampa aberta.</p>	<p>– O sistema mais eficiente é o do tipo <i>igloo</i>, seguido de muito perto pelo sistema de tampa fechada com carga traseira, quer do ponto de vista de custos quer de eficiência.</p>

## 2.4 A implementação de novos esquemas de recolha

A implementação de novos esquemas de recolha, indiferenciada ou selectiva, na sequência de uma fase de análise e projecto de soluções que dêem resposta aos objectivos definidos para esta operação, requer uma programação detalhada e desde logo uma estratégia de actuação em que a concertação com a população-alvo tenha um papel preponderante.

Efectivamente estarão em causa:

- alteração, muitas vezes radical, de hábitos das populações abrangidas;
- alteração dos equipamentos de deposição e recolha;
- alteração dos esquemas de recolha – circuitos, frequências, horários, meios utilizados.

Assume assim particular relevância um planeamento que integre os vários aspectos em que será preciso actuar, como seja:

- análise da zona a abranger, recorrendo nomeadamente a levantamentos de campo para precisar caso a caso localizações e necessidades de equipamentos de deposição, identificando eventuais constrangimentos a nível de circulação;
- dimensionamento e traçado optimizado dos circuitos de recolha, envolvendo a definição de horários, frequências e equipas;
- reconhecimento de campo dos circuitos e eventuais ajustamentos;
- quantificação e aquisição de equipamentos (elaboração de especificações, consultas ao mercado, período de fornecimento);
- obras de preparação dos locais, particularmente nas situações de contentores de grande capacidade;
- definição e preparação dos esquemas de obtenção de informação (formulários, aplicações informáticas ou outros) para acompanhamento da operação de recolha, e construção de indicadores de funcionamento;
- divulgação pública dos novos procedimentos de recolha, implicando eventualmente a revisão da regulamentação em vigor;
- formação do pessoal da recolha;

- sensibilização da população abrangida para a sua adesão e correcta colaboração;
- distribuição/colocação no terreno dos novos equipamentos de deposição;
- arranque em zona ou zonas piloto e eventuais ajustamentos em função dos resultados;
- extensão generalizada às restantes zonas abrangidas.

Destaca-se em particular o papel que pode ter na eficiência que se deseja para os novos esquemas de recolha uma comunicação bem adaptada ao público-alvo, privilegiando uma informação clara e detalhada sobre os objectivos, procedimentos e resultados esperados.

Realça-se também a importância dos regulamentos e normativos municipais reflectirem de forma actualizada o quadro de intervenção e gestão dos resíduos urbanos. A introdução, a nível urbanístico, da obrigatoriedade dos novos edifícios incluírem compartimentos ou áreas específicas destinadas ao acondicionamento dos resíduos, é a este título, recomendável.

## **2.5 Monitorização da recolha**

O acompanhamento contínuo, análise de resultados e diagnóstico da operação da recolha são imprescindíveis para em permanência poderem ser identificados factores de optimização do serviço.

Neste âmbito, os crescentes níveis de exigência de qualidade de serviço prestado à população, de eficiência das operações, e de minimização de custos tornam imprescindível a adopção de novas práticas e ferramentas de gestão, como instrumentos de apoio à actuação dos responsáveis e decisores.

A gestão da recolha é ainda pouco apoiada em indicadores de funcionamento e de custos, essenciais a uma percepção dos factores de melhoria do serviço, e o recurso a Sistemas de Informação Geográfica é ainda incipiente.

Esta situação deverá ser invertida, adoptando-se novas formas de gerir e organizar, conduzindo conseqüentemente à melhoria da produtividade e do desempenho.

A monitorização do sistema de recolha deve realizar-se a vários níveis e em função dos tipos de recolha e do esquema operacional

adoptado. Entre outros, referem-se como aspectos que importa conhecer:

- os quantitativos e as características qualitativas dos resíduos;
- a localização dos pontos de recolha;
- os trajectos dos circuitos, para melhor gestão do pessoal e frota da recolha;
- os parâmetros caracterizadores dos circuitos (duração, distâncias, quantitativos de resíduos recolhidos) a fim de analisar o seu equilíbrio relativo, identificar sobrecargas das viaturas, verificar o desempenho;
- as taxas de apresentação dos contentores à recolha (caso do porta-a-porta), para se analisar eventuais alterações de frequência ou avaliar a taxa de participação da população no caso da recolha selectiva;
- a qualidade dos materiais recolhidos selectivamente e níveis de enchimento dos contentores, para melhor adaptar as acções de comunicação e ajustar o número de contentores à produção em cada ponto de recolha;
- o estado de conservação do equipamento, devido designadamente a má operação, vandalismo ou outras causas;
- os incidentes ocorridos na recolha, para antecipar reclamações e intervir em pontos específicos (reparações, informação, etc.);
- os custos associados às operações, através da definição de centros de custo e da contabilidade analítica, de forma a avaliar de forma contínua a produtividade e eventuais desvios.

## **2.6 Melhoria / optimização da recolha**

A optimização de um sistema de recolha surge naturalmente associada a uma perspectiva de aumento de eficiência e de redução de custos.

A actuação neste sentido pode centrar-se, designadamente em:

- alteração da tipologia dos meios de deposição;
- alteração da frequência de recolha;
- optimização dos circuitos de recolha;
- implementação de um sistema de recolha multifluxo;
- utilização de equipamento de recolha automatizado.

Para além dos aspectos referidos, a utilização cada vez mais importante de ferramentas informáticas e de comunicação, para a avaliação do grau de enchimento dos contentores, para o traçado de rotas e para o conhecimento estatístico do comportamento dos diferentes pontos de recolha, são contributos fundamentais para a optimização da recolha.

### **2.6.1 Alteração da tipologia dos meios de deposição**

A existência de diferentes tipologias de equipamentos de deposição pode conduzir a um acréscimo do número de viaturas necessárias para proceder à recolha devido a diferenças nos métodos de descarga desses equipamentos. Esta situação pode também levar a um número de circuitos superior ao necessário, com repercussão a nível dos custos operacionais.

A harmonização do equipamento de deposição destinado às diversas fracções, quando possível, e a sua compatibilização com as viaturas afectas ao serviço, são assim factores que contribuem para a rentabilidade da operação.

Nem sempre é possível no entanto equipar uma determinada zona com um único tipo de meios de deposição, pelo que nessas situações deverá tentar agrupar-se os equipamentos da mesma tipologia de modo a que a sua recolha constitua um ou mais circuitos completos.

Um outro tipo de intervenção, em situações de produção concentrada de resíduos, e em que as condicionantes urbanísticas se mostrem favoráveis, pode passar pela substituição de equipamentos de deposição de superfície por equipamentos enterrados de grande capacidade. Estes equipamentos permitem armazenar maiores quantidades de resíduos, em melhores condições ambientais (melhor controlo de odores e escorrências), não requerendo recolhas tão frequentes, originando circuitos com trajectos mais curtos, por maiores rácios de quantidade por ponto de recolha. Este tipo de intervenção pressupõe um balanço de custos de forma a aferir se o maior investimento em meios de deposição é contrabalançado pelos menores custos directos da operação (menores recursos de mão-de-obra, consumos e desgaste das viaturas, entre outros).

## 2.6.2 Alteração da frequência de recolha

A alteração da frequência de recolha é um dos factores principais quando se pretende otimizar um sistema de recolha, na medida em que permite:

- maximizar os quantitativos recolhidos em cada ponto de recolha;
- minimizar os períodos não produtivos;
- reduzir o consumo de combustível, minimizando os impactes ambientais associados;
- reduzir o número de veículos e pessoal afecto ao serviço de recolha.

Para além dos resultados mais directos associados à alteração da frequência de recolha, esta acção potencia a criação de novos serviços na medida em que ao serem eliminados alguns dos circuitos é possível substituí-los por outros de natureza diferente (recolha de resíduos domésticos perigosos, outras recolhas especiais, por exemplo).

A alteração da frequência de recolha apresenta alguns constrangimentos, que podem no entanto ser anulados se forem adoptadas algumas medidas correctivas.

Não deverão assim deixar de ser equacionados os efeitos:

- da alteração no pessoal afecto à recolha e possibilidade de enquadramento do pessoal excedentário noutras actividades;
- da alteração da frequência de recolha principalmente em alturas do ano com maior produção de resíduos;
- da alteração da frequência de recolha no aumento dos quantitativos apresentados à recolha por ponto de recolha;
- da frequência de recolha na capacidade de deposição instalada;
- da frequência de recolha ao nível dos circuitos de recolha.

## 2.6.3 Optimização dos circuitos de recolha

Para um sistema de recolha eficaz do ponto de vista económico e ambiental muito contribui a existência de circuitos optimizados, na medida em que conduzem a um decréscimo dos custos associados, em virtude de serem necessárias menos viaturas e menos pessoal para a sua execução, bem como a uma minimização dos impactes ambientais decorrentes da actividade (diminuição do consumo de combustíveis e das emissões para a atmosfera).

Para tal, os circuitos devem ser periodicamente reajustados no sentido de se minimizarem os trajectos e os tempos de transporte.

#### **2.6.4 Implementação de um sistema de recolha multifluxo**

As recolhas multifluxo, desde que a compartimentação das viaturas seja adequada às densidades dos materiais a recolher, serão também uma solução com interesse, uma vez que permitem a recolha de duas ou mais fileiras de materiais com a passagem de uma única viatura e equipa.

Tal situação pressupõe um conhecimento detalhado dos níveis de enchimento dos contentores das várias fileiras de materiais a recolher, de forma a compartimentar a viatura proporcionalmente aos respectivos volumes a recolher num mesmo circuito.

#### **2.6.5 Utilização de equipamento de recolha automatizado**

Outra linha de actuação concorrente para a optimização centra-se na utilização de meios mecânicos semi-automáticos ou automáticos para a recolha de contentores, sistemas que se traduzem numa redução significativa de meios humanos na operação.

Estes sistemas funcionam com o motorista e um operador ou apenas com o motorista, que pode comandar toda a operação de recolha a partir da cabina da viatura.

A utilização deste esquema implica geralmente um sistema específico de carregamento lateral dos contentores compatível com as respectivas formas, bem como condições de acessibilidade da viatura sem constrangimentos, nomeadamente de estacionamento de viaturas junto dos pontos de recolha.

Esta prática que se vem generalizando na Europa, é já corrente nos Estados Unidos desde há muitos anos, em parte resultante da tipologia das cidades americanas, em que predomina a habitação de tipo unifamiliar.

Em Portugal é de referir a experiência dos SMAS de Loures, no que se refere à utilização apenas do motorista para a descarga (lateral) de contentores de 2,4 m<sup>3</sup>.

## **2.7 O caso da optimização da recolha em Matosinhos**

### **2.7.1 Enquadramento**

Ilustra-se um exemplo concreto de actuação de um sistema municipal – o município de Matosinhos – a nível da optimização da recolha.

A necessidade sentida de estabelecer um Plano Estratégico de remoção de resíduos para a zona da cidade de Matosinhos conduziu a um levantamento e diagnóstico da situação existente aprofundados, no qual se apoiou a definição de linhas de orientação e soluções a adoptar num horizonte de médio prazo para as operações de remoção na zona, traduzidas num conjunto de medidas e acções de requalificação do sistema actual, com o objectivo da melhoria da sua qualidade e da economia do serviço prestado.

### **2.7.2 Caracterização da situação existente**

A fim de se obter um retrato fiável do sistema de recolha existente, o trabalho realizado envolveu a compilação de dados relativos às operações de recolha indiferenciada, recolha selectiva multimaterial, entre outras, e os correspondentes meios afectos.

Verificou-se a existência de alguma informação sobre o funcionamento do sistema, mas de uma forma geral não sistematizada ou não tratada.

Assim, foi necessário proceder ao levantamento de informação adicional, através da execução de trabalhos de campo, envolvendo:

- a actualização da listagem e da localização dos equipamentos de deposição selectiva;
- a actualização da listagem e da localização dos contentores Molok para deposição indiferenciada;
- o acompanhamento de vários circuitos de recolha.

Com base no levantamento efectuado procedeu-se à caracterização geral de cada um dos serviços e à determinação, sempre que possível, de indicadores de funcionamento, que permitissem traçar o diagnóstico da situação actual e estabelecer um conjunto de linhas orientadoras no sentido de otimizar o sistema.

Apresenta-se seguidamente uma síntese da caracterização do sistema nas componentes relativas à recolha indiferenciada e selectiva, relevando-se alguns dos indicadores apurados.

### Recolha indiferenciada

A recolha indiferenciada dos resíduos domésticos é efectuada de duas formas distintas:

- uma parte da área está servida com contentores enterrados do tipo Molok, com 5 m<sup>3</sup> de capacidade, que são recolhidos através de três circuitos diurnos com viaturas tipo *ampliroll*;
- na parte restante, o esquema mais usual consiste ainda na deposição dos resíduos directamente na via pública, acondicionados frequentemente em sacos de plástico, sendo a recolha realizada através de cinco circuitos nocturnos, com viaturas com compactação, equipadas com elevador apenas para contentores de 800 L, pelo que a recolha se realiza maioritariamente por baldeação manual («recolha aberta»).

No que se refere à recolha de Molok, foi possível apurar os indicadores constantes no Quadro 15.

Quadro 15 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução dos circuitos de recolha indiferenciada de Molok

Circuito	h/recolha	km/recolha	t/recolha	km/h	t/h	kg/km	t/ajudante
M1	5,2	51	13,3	10	2,5	274	6,7
M2	4,9	52	13,7	10	2,8	268	6,8
M3	4,6	49	14,9	11	3,3	305	7,5
média	5,0	51	13,7	10	2,8	278	6,9

O facto de não haver registos sistemáticos da execução dos circuitos não permite apurar outros indicadores da sua execução, como o número de Molok visitados e efectivamente recolhidos, e o grau médio de enchimento com que os Molok são recolhidos.

Do acompanhamento directo que se fez à execução diária de um destes circuitos (circuito M1), resultaram os indicadores apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução de um circuito de recolha indiferenciada de Molok

N.º Molok recolhidos	h	km	km/h média do circuito	km/h em transporte	km/h em recolha	tempo de descarga min
34	5,1	50	10	45	4	2,7 – 10,8 média: 5,7

O tempo de execução, km percorridos e velocidade média são concordantes com os anteriormente referidos.

Os tempos de paragem para descarga dos Molok variaram razoavelmente. As maiores demoras decorreram de haver resíduos fora dos contentores, que tiveram de ser recolhidos manualmente.

De salientar o número de Molok recolhidos, cerca de  $\frac{1}{3}$  dos teoricamente afectos ao circuito, o que, face aos valores apurados na semana de controlo e ao observado, indicia uma frequência média de 2 a 3 recolhas/semana de cada Molok.

Relativamente aos circuitos nocturnos em zonas de recolha aberta, apuraram-se os indicadores apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução dos circuitos nocturnos de recolha indiferenciada

Circuito	h/recolha	km/recolha	t/recolha	km/h	t/h	kg/km	t/ajudante
P1	5,1	55	9,7	11	1,9	177	3,6
P2	4,7	57	9,9	12	2,1	174	3,5
P3	5,1	64	6,8	13	1,3	105	3,0
P4	5,0	53	10,4	11	2,1	196	3,5
P5	5,3	55	9,0	11	1,7	163	2,9
média	5,0	56	9,1	11	1,8	159	3,2

O circuito P3 é aquele em que se recolhem menores quantitativos, mas o respectivo tempo de execução não difere muito dos restantes. De facto, este é um circuito com grande dispersão geográfica das ruas abrangidas, sendo o que apresenta o trajecto de maior comprimento.

O circuito P5, por sua vez, é o circuito de recolha mais complexo, em virtude de abranger habitações com compartimentos de resíduos apresentando de uma forma geral constrangimentos que dificultam a recolha.

Do acompanhamento directo que se fez à execução deste circuito numa segunda-feira, foi possível apurar os indicadores que se apresentam no Quadro 18.

Quadro 18 – Zona de Matosinhos. Indicadores da execução de um circuito de recolha nocturna indiferenciada

N.º compartimentos de resíduos abrangidos	h	km	km/h média do circuito	km/h em transporte	km/h em recolha	Tempos de paragem para descarga, mm:ss
39	5,8*	40*	6,9*	37*	4,4	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ geral: 00:01 a 05:33 (média: 01:03)</li> <li>■ nos compartimentos: 00:15 a 05:33 (média: 01:44)</li> </ul>

\* excluindo o trajecto da viatura de apoio

Saliente-se que à segunda-feira a execução do circuito conta com um motorista de apoio, que procede à troca da viatura de recolha quando a inicial está cheia e transporta os resíduos para a Central de Incineração LIPOR II, continuando o motorista afecto ao circuito a executar a parte restante com a nova viatura. Esta foi a forma encontrada para garantir que nenhum motorista excede as 6 horas normais de trabalho.

De referir que só foi acompanhado (e registado) o trajecto da viatura inicial, pelo que os dados obtidos não incluem o trajecto da viatura de apoio, e assim o tempo de execução, km percorridos e velocidade média não são comparáveis com os apresentados no Quadro 17.

O tempo médio apurado para a paragem para descarga em cada ponto de recolha foi de cerca de 1 minuto, reflectindo a situação de por vezes praticamente a viatura não chegar a parar enquanto os cantoneiros recolhem os sacos da via pública.

Considerando apenas as situações de paragem em compartimentos de resíduos, a média sobe para 1m 44s.

Comparando, com base nos indicadores apurados, o desempenho dos dois tipos de circuitos de recolha indiferenciada (Molok e baldeação), verifica-se que, em média, os circuitos de recolha de Molok, para um tempo de execução equivalente, recolhem maiores quantidades de resíduos, percorrendo menor distância, e necessitando de menos ajudantes na recolha. São assim mais eficientes.

Em termos de custo/tonelada recolhida haverá no entanto outros factores a considerar, como sejam os custos envolvidos com a substituição dos sacos e lonas dos Molok e os diferentes custos de operação/manutenção das viaturas, que não são os mesmos, dada a sua diferente tipologia.

### Recolha selectiva

A recolha selectiva multimaterial realiza-se através de ecopontos, porta-a-porta, ecocentros e recolhas especiais.

A recolha selectiva por **ecopontos** abrange ecopontos tradicionais ou enterrados, constituídos por um vidroão, um embalão e um papelão (ou mais), e os vidrões isolados.

Verifica-se que embora o grau médio de cobertura da população com ecopontos seja bastante razoável (da ordem de 350 habitantes por embalão e por papelão, e de 185 habitantes por vidroão), há ainda zonas não abrangidas. Por outro lado há grande sobreposição das áreas de influência (considerando um raio de influência de 150 m) dalguns destes equipamentos, particularmente dos vidrões, conforme ilustra a Figura 24.



Figura 24 – Zona de Matosinhos. Área de influência de ecopontos (Ambirumo)

Os quantitativos recolhidos selectivamente através dos ecopontos correspondem a taxas de recuperação de 54% de vidro, 13% de papel/cartão, e 4% de embalagens.

No que se refere à frequência de recolha dos contentores para as três fracções, verifica-se que, em termos médios, cada papelão e cada embalão é recolhido aproximadamente com intervalos de uma semana, e cada vidrão com intervalos de duas semanas (Quadro 19).

Quadro 19 – Zona de Matosinhos. Intervalo médio de recolha de ecopontos

Tipologia de contentor	Intervalo médio entre recolhas (dias)
Papelão	6,4
Embalão	5,6
Vidrão	14,2

A análise dos 5 circuitos de recolha de ecopontos existentes apenas permitiu apurar os indicadores de funcionamento apresentados no Quadro 20, uma vez que não existe informação sobre o número de ecopontos recolhidos por circuito.

Quadro 20 – Zona de Matosinhos. Indicadores da recolha de ecopontos

Circuito	t/recolha	h	km	km/h	t/h	kg/km	t/ajudante
V	10,0	5,5	114	20,7	1,8	88	8,4
P1	3,5	5,3	58	11,0	0,7	59	3,5
P2	3,2	5,3	55	10,3	0,6	58	3,2
E1	1,5	5,3	57	10,8	0,3	26	1,5
E2	1,1	5,4	54	10,0	0,2	22	1,2

V – vidrões. P – papelões. E – embalões.

Com base nos quantitativos das três fracções selectivas recolhidos em 2006 na Zona do Município, no intervalo médio entre recolhas apurado para os vidrões, papelões e embalões, e no número destes contentores confirmado no terreno, determinou-se o grau de enchimento com que, em média, são recolhidos, conforme se apresenta no Quadro 21.

Quadro 21 – Zona de Matosinhos. Grau médio de enchimento com que os contentores dos ecopontos são recolhidos

Tipologia do contentor	Vidrões	Papelões	Embalões
Capacidade instalada (m <sup>3</sup> /ano)	22.418	30.683	33.685
N.º médio de recolhas / ano	25,7	57,1	64,8
Peso específico dos resíduos, em contentor (kg/m <sup>3</sup> )	240	50	25
Quantitativos recolhidos (t/ano)	1.113	645	216
Quantitativos recolhidos (m <sup>3</sup> /ano)	4.638	12.900	8.640
Grau médio de enchimento	21%	42%	26%

Os valores obtidos são bastante baixos, denotando que a recolha destas fracções pode ser optimizada.

No que se refere à recolha **porta-a-porta**, os resíduos de papel/cartão depositados nos compartimentos de resíduos e anarquicamente na via pública são recolhidos diariamente por um circuito nocturno. Este circuito recolhe também os resíduos de papel/cartão colocados à porta dos estabelecimentos comerciais após o seu encerramento.

Os indicadores médios apurados apresentam-se no Quadro 22.

Quadro 22 – Zona de Matosinhos. Indicadores médios para o circuito nocturno de recolha de papel/cartão

t/recolha	h	km	km/h	kg/h	kg/km	t/ajudante
1,2	4,9	44	9,1	254	20,8	0,5

Quanto aos **ecocentros**, estas infra-estruturas estão acessíveis a todos os municípios e às firmas/empresas, com sede ou serviços no Concelho.

Ao nível da recolha selectiva existe ainda uma componente designada por **ecoserviços** que engloba o serviço de ecofeiras e ecomóvel.

O serviço ecofeiras consiste na recolha selectiva de papel/cartão e embalagens nas feiras do Município. Para tal, os resíduos são enfardados ou acondicionados em caixas de cartão (no caso do papel/cartão) ou em sacos de plástico (no caso das embalagens plásticas).

O ecomóvel caracteriza-se por um serviço de recolha por marcação de monstros e REEE, bem como de alguns verdes provenientes da limpeza de jardins particulares.

### **Diagnóstico**

O levantamento e avaliação das diferentes componentes do serviço de recolha efectuado permitiram verificar que, apesar do serviço prestado ser de um modo geral satisfatório, existem alguns constrangimentos que influenciam a eficácia do sistema actual de recolha, nomeadamente:

- **Recolha indiferenciada**

A indisciplina da população no cumprimento dos horários de deposição dos resíduos, colocando-os na via pública a qualquer hora do dia obriga a um esforço redobrado dos Serviços, que ao invés de basearem a sua actuação numa programação consistente, têm de acorrer com bastante frequência a circuitos de apoio e recolhas pontuais, passando a ser esta uma situação de rotina e não de excepção.

A recolha nos edifícios com compartimentos de resíduos é prejudicada pela sua concepção insatisfatória. Alguns não estão devidamente dimensionados para a colocação de contentores, quer pela sua dimensão, quer pela existência de escadas que dificultam a retirada dos contentores.

- **Recolhas selectivas**

Embora o grau médio de cobertura da população com ecopontos seja bastante razoável, há ainda zonas não abrangidas. Por outro lado há grande sobreposição das áreas de influência dalguns destes equipamentos, particularmente dos vidrões.

O grau médio de enchimento com que os contentores dos ecopontos são recolhidos é bastante baixo, denotando que a recolha destas fracções pode ser optimizada.

Verificando-se um aumento sustentado da recolha de materiais recicláveis, existe ainda um grande potencial não aproveitado destes materiais na fracção indiferenciada dos RU.

- **Circuitos de recolha**

Os circuitos de recolha não estão optimizados – há grande dispersão das ruas que integram determinados circuitos; em muitos casos observam-se trajectos aleatórios; todos são executados em menos tempo que o previsto, com excepção do circuito P5 à

segunda-feira, que necessita de um motorista de apoio para garantir que não é ultrapassado o horário normal de trabalho, evitando o recurso a horas extraordinárias.

De uma forma geral não há controlo da execução dos circuitos.

- **Informação de gestão**

A informação sobre o funcionamento do sistema de resíduos de uma forma geral não existe, não está sistematizada ou não é tratada.

A gestão do serviço não é apoiada pelo recurso ao Sistema de Informação Geográfica do Município.

Não existe sistematização sobre o apuramento de custos relativos às diferentes componentes da recolha (investimentos, custos do pessoal, custos de manutenção de viaturas e equipamentos, etc.), fundamentais a uma percepção de factores de optimização do serviço.

### **2.7.3 Linhas de intervenção estratégica**

Decorrente do diagnóstico efectuado e na perspectiva de colmatar as lacunas detectadas tendo em vista a optimização do sistema, estabeleceu-se um Plano de Acção, com a respectiva programação física e financeira, para concretizar o conjunto de linhas de intervenção definidas, envolvendo designadamente:

- a elaboração do novo Regulamento Municipal de Resíduos, com incidência, entre outros aspectos, nas condições de acondicionamento de resíduos a nível das novas construções e fixação de horários de deposição dos resíduos;
- a nível da recolha indiferenciada, a implementação de sistemas de deposição, preferencialmente através de contentores, obviando os impactes negativos resultantes da actual deposição em sacos na via pública, privilegiando, sempre que possível e em função das características das zonas, a utilização de contentores de grande capacidade, face à maior concentração de resíduos e natural optimização de trajectos daí resultante;
- a nível da recolha selectiva multimaterial, a aquisição de equipamento de deposição adicional (ecopontos) e relocação dos equipamentos actualmente existentes;
- o levantamento e georreferenciação dos meios de deposição (ecopontos e vidrões isolados) para criação de base de dados geográfica;

- o incremento da recolha selectiva porta-a-porta, com recurso à utilização dos compartimentos onde seja possível instalar contentores para vários fluxos, na perspectiva de, desta forma, se criarem melhores condições para o acondicionamento dos resíduos produzidos, possibilitando, na origem, a separação de materiais recicláveis;
- a optimização de todos os circuitos de recolha;
- a nível dos recursos afectos (pessoal e equipamentos), o estabelecimento de um sistema de planeamento, conducente à utilização dos recursos existentes de forma racional;
- a implementação de um sistema de informação, com indicadores de gestão, permitindo controlar atempadamente a execução das operações, analisar desvios e introduzir de forma continuada as melhorias necessárias.

Com este Plano, estabelecido para o período 2007–2016 (havendo entretanto actividades já concretizadas, como a elaboração do plano de contentorização), dispõe assim o município de um instrumento que enquadra as acções de requalificação do sistema actual de recolha de resíduos urbanos.



## 3. TRIAGEM

### 3.1 Nota introdutória

A necessidade de assegurar o cumprimento dos objectivos de valorização e reciclagem de resíduos de embalagens tem conduzido à implementação de esquemas de recolha selectiva e operações de triagem cada vez mais exigentes, quer em termos qualitativos quer quantitativos.

A primeira separação de materiais recicláveis tem lugar junto do consumidor, em regra, mas não dispensa uma triagem adicional dos resíduos recolhidos, tendo em vista a melhoria da qualidade dos materiais a encaminhar para reciclagem e o cumprimento das especificações impostas pelos respectivos retomadores.

Os centros de triagem desempenham este papel, como instalações centralizadas de recepção dos fluxos das recolhas selectivas, e de separação, acondicionamento e expedição de volumes consideráveis de materiais recuperados dos resíduos urbanos.

No contexto das recolhas selectivas actuais, nestas infra-estruturas são recebidos basicamente os fluxos papel/cartão, embalagens (plásticas e metálicas) e vidro provenientes de papelões, embalões, vidrões e ecocentros, e separados, manualmente ou com recurso a equipamentos mecânicos, diferentes tipos de materiais, nomeadamente: embalagens de vidro, embalagens de papel/cartão, outros papéis e cartões, filme plástico, embalagens de PEAD, PET e PET-óleos, EPS, embalagens de plásticos mistos, embalagens de aço, embalagens de alumínio.

A qualidade das recolhas selectivas é condicionante dos materiais indesejáveis que entram na instalação de triagem e assim têm de ser processados, e dos correspondentes refugos à saída, com implicações no dimensionamento da linha processual e nos custos. Por outro lado a triagem deverá assegurar, ao nível dos diferentes produtos, a qualidade requerida para o seu escoamento para as indústrias recicladoras, definidas nas especificações técnicas da SPV para a retoma de resíduos de embalagens.

Uma boa articulação e coerência entre as operações de recolha selectiva e de triagem são assim indispensáveis.

Também à partida as instalações de triagem devem apresentar flexibilidade para se adaptarem às variações, previsíveis, de qualidade e composição dos fluxos a triar.

## 3.2 Sistemas de triagem

### 3.2.1 Triagem manual

A separação dos materiais que dão entrada nos centros de triagem pode ser manual ou automática, recorrendo neste caso a tecnologias e equipamentos mais ou menos complexos.

Embora a tendência actual seja a da integração destes dois tipos de operação, com importância crescente dos processos automáticos, a triagem manual predomina ainda nas instalações nacionais de primeira geração e, mesmo com expressão mais reduzida, manter-se-á relevante em algumas etapas da separação.

Comparativamente a processos de separação envolvendo meios mecânicos e automáticos, a triagem manual permite obter materiais separados com menor teor de contaminantes. No entanto, conduz a maiores quantidades de rejeitados, em virtude de alguns materiais não serem facilmente identificados, prejudicando a sua separação da mistura.

Requer mão-de-obra intensiva, com custos significativos, estando sujeita a variações de eficiência associadas a situações de fadiga. É também o processo de separação que apresenta maiores riscos para a saúde e de acidentes.

O processo da triagem manual propriamente dito pode realizar-se de formas distintas:

- **Triagem positiva / triagem negativa**

A triagem positiva consiste em retirar do fluxo os materiais-alvo que passam em frente de cada posto de trabalho, deixando seguir os indesejáveis. Em geral cada triador está encarregue de retirar no máximo dois tipos de materiais.

É o procedimento de utilização mais corrente, uma vez que pode ser aplicado a todos os fluxos de materiais.

Para uma melhor eficiência, é preferível retirar o mais depressa possível do fluxo os materiais que possam esconder os restantes.

Na triagem negativa, pelo contrário, os triadores tiram do tapete alimentador os indesejáveis. Este procedimento supõe que o material que permanece no tapete apresenta qualidade e quantidade suficiente para satisfazer as condições de retoma estabelecidas.

É um método frequentemente utilizado no caso da recolha monomaterial (fluxo papel/cartão).

- **Triagem lateral / triagem frontal**

Consoante o movimento do tapete de triagem em relação ao operador, a triagem pode ser lateral ou frontal.

No caso da triagem lateral, o tapete localiza-se em frente dos operadores, os quais retiram os materiais para os respectivos contentores. A distribuição dos triadores pode ser dos seguintes tipos:

- todos os postos de triagem são do mesmo lado do tapete e os contentores estão localizados à sua frente, do outro lado do tapete;
- os triadores estão dos dois lados do tapete, em posições alternadas, estando os contentores localizados ao seu lado.

No caso da triagem frontal, o tapete move-se em direcção a um triador que retira os materiais antes da sua queda.

Este procedimento é essencialmente utilizado como triagem complementar ou de controlo, uma vez que permite separar no máximo duas categorias de materiais.

A triagem frontal apresenta a vantagem de ser mais ergonómica que a lateral e permitir uma melhor visualização dos materiais que se aproximam, o que facilita a antecipação do gesto de captura dos materiais do tapete.

- **Triagem em contínuo / triagem sequencial**

Em alternativa à separação dos materiais da mistura transportada num tapete deslizando em contínuo (Figura 25), na triagem sequencial o tapete pára ciclicamente em frente aos triadores e a separação faz-se não com os materiais em movimento mas parados frontalmente ao operador (Figura 26).

Cada ciclo de triagem (com descarga da ordem dos 2 minutos) compreende duas sequências:

- a triagem propriamente dita;
- a evacuação dos materiais que restam no tapete e a chegada de materiais novos (não há trabalho a executar pelo operador nesta fase).



Figura 25 – Triagem em contínuo (tapete deslizante) (Ambirumo)



Figura 26 – Triagem sequencial (Ambirumo)

A cada ciclo qualquer operador pode triar todos os materiais, sequencialmente, a um ritmo pessoal. A mudança de material ocorre após o triador mais lento introduzir o respectivo comando.

Este tipo de triagem permite uma operação mais fácil dos operadores, uma vez que é mais fácil a triagem com o produto parado e menos monótona por incluir todos os tipos de materiais.

Assim, o rendimento da triagem será em princípio superior ao da triagem com os materiais em movimento.

Por outro lado, este processo de triagem permite instalações mais compactas, o que reduz os custos da infra-estrutura.

Os triadores encontram-se próximos uns dos outros, podendo-se ajudar mutuamente, reforçando o trabalho de equipa e melhorando de uma forma global a eficácia do processo.

### **3.2.2 Triagem semi-automática**

Na triagem semi-automática são utilizados, para além da separação manual, equipamentos de separação mecânica, cuja escolha depende da composição dos fluxos para triagem.

Estes equipamentos visam essencialmente a preparação dos materiais para facilitar a posterior separação manual. A este título destacam-se os equipamentos de separação granulométrica e densimétrica.

A conjugação entre os dois sistemas de triagem permite obter uma separação mais eficiente de alguns materiais, com repercussões ao nível do decréscimo dos custos unitários da separação.

### **3.2.3 Triagem automática**

Com o incremento das quantidades de materiais a reciclar, em função das metas definidas para a recuperação de resíduos de embalagens, os actuais sistemas de triagem com recurso a separação manual ou por fluxo contínuo ou sequencial deixarão de dar resposta, face aos rendimentos obtidos.

A tendência será, pois, o recurso a equipamentos automatizados na triagem, em detrimento de pessoal, tirando partido do grande desenvolvimento de instalações automatizadas com exponencial implementação a nível industrial a partir de 2004, e pela comprovada eficiência dos protótipos desenvolvidos desde o fim dos anos 90 e início dos anos 2000.

Esta situação verifica-se já em Portugal, com a unidade de triagem de embalagens da VALOR AMBIENTE construída de raiz (capítulo 3.5.1), a adaptação da unidade sequencial da VALORSUL para a utilização de sistemas de separação óptica (capítulo 3.5.2), e diversos concursos a decorrer para soluções semelhantes à última referida.

As estações de triagem nas quais a separação dos materiais se baseia em sistemas completamente automáticos recorrem a diversos tipos de equipamentos, cujo funcionamento se baseia nas propriedades físicas específicas de cada material.

Na Figura 27 apresenta-se esquematicamente o princípio de funcionamento dos separadores automáticos, independentemente da tecnologia de detecção associada.

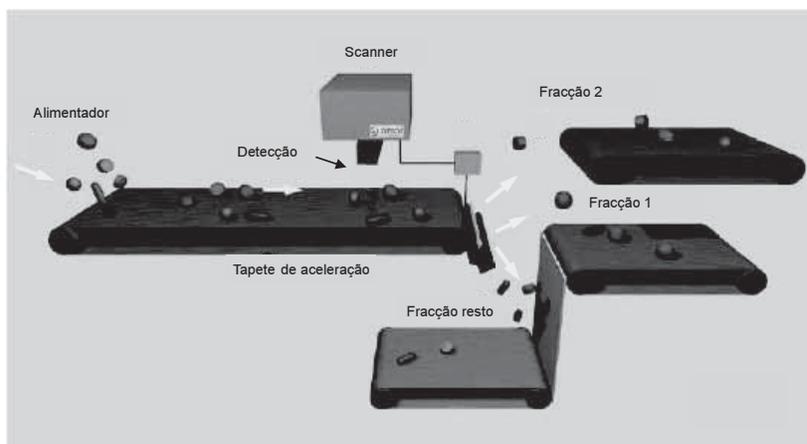


Figura 27 – Esquema de funcionamento dos separadores automáticos

Nas principais tecnologias de triagem automática incluem-se a separação óptica, transmissão de raios-X (XRT), fluorescência de raios-X (XRF) e infra-vermelhos.

Os sistemas de separação óptica utilizam luz visível para separar os materiais por cor.

A transmissão de raios-X (XRT) baseia-se em tecnologias em que o sinal emitido passa directamente através do objecto a identificar e é lido pelo sensor localizado do lado oposto.

Dado que o sinal atravessa a embalagem, são ignorados os rótulos e outros contaminantes que noutros sistemas de detecção

conduzem a falsas leituras. Esta tecnologia apresenta a vantagem de conseguir detectar a composição química de embalagens mesmo quando estas se encontram agarradas umas às outras.

A principal desvantagem da detecção de materiais pela transmissão de raios-X reside no facto de embalagens espalmadas ou parcialmente espalmadas não serem detectadas. As tecnologias XRT estão programadas para eliminar do fluxo embalagens cuja leitura não seja possível.

A tecnologia de fluorescência de raios-X (XRF) consiste na utilização de equipamentos de detecção nos quais os sinais embatem na superfície dos objectos, sendo reflectidos e captados nos sensores de identificação. Quando o sensor detecta determinado material activa um jacto de ar que o ejecta para fora do fluxo de materiais.

No entanto, este sistema é sensível à presença de contaminantes, como por exemplo rótulos, conduzindo a que algumas embalagens sejam incorrectamente rejeitadas.

Algumas tecnologias de triagem automática permitem múltiplas separações, por tipo de polímero e cor, enquanto outras identificam apenas um elemento, retirando-o do fluxo de resíduos.

Na utilização da tecnologia XRF ou outras de detecção de superfície é importante que o sistema seja projectado de modo a garantir a passagem de apenas uma embalagem de cada vez pelo sinal/sensor.

No caso da tecnologia de infra-vermelhos, quando as embalagens plásticas são expostas a sinais de infra-vermelhos, cada polímero absorve a luz de modo único podendo ser posteriormente detectado por sensores. Esta tecnologia tem a capacidade de diferenciar uma larga gama de polímeros, dependendo do esquema de sistema adoptado.

Os sinais de infra-vermelhos passam completamente através do corpo das embalagens a identificar permitindo detectar embalagens que se encontrem tapadas por outras quando passam pelos sensores. A vantagem desta tecnologia de detecção reside no facto de permitir a identificação de embalagens compostas por mais que um polímero. No entanto, tal como no caso da tecnologia XRT, este sistema de detecção apresenta dificuldades na identificação de embalagens espalmadas ou parcialmente espalmadas.

É de salientar que a qualidade da separação automática é para muitos materiais inferior à obtida com a separação manual, alcançando-se contudo taxas de processamento mais elevadas e valores mais elevados de recuperação – os rendimentos, de cerca de 60% nos sistemas manuais, atingem cerca de 90% nos sistemas automatizados.

Por outro lado, as estações de triagem automáticas não se revelam tão flexíveis em relação a alterações na tipologia dos materiais para triagem, apesar do equipamento utilizado poder ser ajustado para detecção de novos materiais através da adição de novos sensores.

Apesar destas desvantagens, a utilização de sistemas automáticos será fundamental, uma vez que a capacidade de processamento poderá ser 4 a 10 vezes maior que a dos sistemas manuais e, não sendo o acréscimo de investimento muito significativo em relação a estes últimos, beneficia de custos de exploração mais baixos, por recurso a muito menos mão-de-obra.

### **3.3 Equipamentos de triagem**

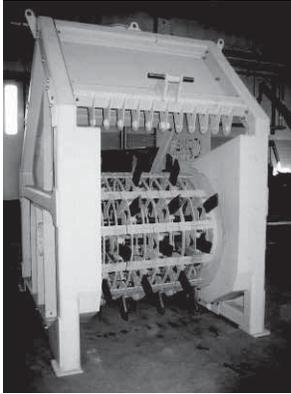
De forma não exaustiva, apresentam-se algumas características e particularidades dos principais equipamentos que integram as linhas processuais das instalações de triagem.

#### **3.3.1 Abridor de sacos**

Em função do tipo de acondicionamento dos materiais provenientes das recolhas selectivas, estes equipamentos podem ser essenciais para tornar esses materiais acessíveis às operações subsequentes de triagem.

Existem vários sistemas, com funcionamento mecânico (discos rotativos cortantes, pontas dilaceradoras actuando por efeito de peso) ou por por termofusão do plástico.

O seu desempenho pode ser afectado pela presença de objectos maciços ou sacos de tamanhos muito variáveis, pelo que é conveniente testar o equipamento sobre o tipo de resíduos em causa.



(a)



(b)

Figura 28 – Abre-sacos com discos rotativos cortantes (a) e de pontas dilaceradoras (b) (Ambirumo)

### 3.3.2 Separadores granulométricos

A separação granulométrica, designada também por crivagem, é utilizada na separação dos materiais em duas ou mais fracções em função das respectivas dimensões.

Os equipamentos mais utilizados são o crivo vibratório e o crivo de tambor rotativo (ou tromel).

O crivo vibratório é constituído por placas perfuradas ou por barras dispostas em intervalos regulares. O conjunto é geralmente inclinado e montado sobre um sistema de vibração em uma ou duas dimensões.

Um mesmo equipamento pode integrar várias placas perfuradas, umas por cima das outras, com orifícios de dimensões diminuindo no sentido da inclinação, o que permite separar a mistura em mais de duas fracções granulométricas.

Um fluxo muito heterogéneo pode conduzir à colmatação dos orifícios, provocando variações de débito desfavoráveis ao rendimento. Esta situação ocorre no caso de grandes cartões.

O tromel é um tambor rotativo com malhas perfuradas, com uma ou mais dimensões, ligeiramente inclinado, o que permite separar elementos de diferente granulometria, por exemplo: fracção fina, < 25mm; fracção média, de 25 a 60 mm; fracção grossa, de 60 a 180mm.

Em termos operativos, o material a separar é introduzido no interior do tromel inclinado, a partir da extremidade mais elevada. À medida que o tromel roda, o material a separar desce ao longo do tambor, embatendo diversas vezes nas paredes e passando através das diferentes secções de orifícios se a sua dimensão for inferior à daqueles, enquanto o material de dimensão superior ao das malhas existentes atravessa todo o comprimento do tromel e sai pela boca final.



Figura 29 – Tromel (Ambirumo)

O comprimento, ângulo de inclinação e diâmetro do tambor, bem como a altura de material e a velocidade de rotação são parâmetros importantes a considerar na configuração do tromel, condicionando o tempo de permanência da mistura de resíduos no seu interior do tromel, e assim a qualidade da separação.

A secção do tambor pode ser cilíndrica, hexagonal ou octogonal. As paredes são geralmente anti-abrasivas e em certos casos constituídas por placas amovíveis, o que permite mudar facilmente a calibração dos fluxos de saída e facilitar as operações de manutenção.

Por vezes o tromel incorpora lâminas ou dentes no primeiro terço do comprimento para a abertura de sacos: com este sistema há o risco de aumentar a fragmentação do vidro e contaminar os outros materiais.

A regulação do fluxo de alimentação melhora a eficácia da crivagem.

### 3.3.3 Separadores densimétricos

Os separadores densimétricos actuam sobre os materiais em função das suas diferentes propriedades físicas (densidade, forma),

sendo a sua separação efectuada por arrastamento de materiais leves numa corrente de ar ascendente ou por efeito balístico.

A classificação por ar baseia-se na diferença de densidade dos materiais submetidos a um fluxo de ar, permitindo a separação dos materiais leves (papel e plástico) dos materiais pesados (metais ferrosos e vidro).

Uma classificação por fluxo de ar inclui um ciclone, utilizado para separar os materiais sólidos do ar e promover também a fixação de partículas de modo a evitar a contaminação do ambiente.

Devido a este processamento são necessárias operações frequentes de limpeza para eliminar obstruções, situação que pode ser assegurada com ar comprimido em contra-corrente para descolmatagem dos filtros.

Os separadores balísticos permitem a separação do fluxo de material em duas ou três fracções de acordo com a sua classificação em peso, tamanho, densidade e forma.

O seu princípio de funcionamento assenta no efeito balístico conseguido através de uma aceleração da entrada dos materiais no equipamento, que os projecta com velocidades e trajectórias diferentes em função do peso e forma.

São constituídos por crivos longitudinais oscilatórios, com inclinação regulável, sendo possível a sobreposição de crivos com malhas distintas para a separação de várias fracções.



Figura 30 – Separador balístico (Ambirumo)

### 3.3.4 Separadores ópticos

Os separadores ópticos são equipamentos que permitem a classificação e subsequente separação dos materiais em diversas categorias. A instalação sequencial deste tipo de equipamento permite a separação de embalagens plásticas e não plásticas e posteriormente a separação por tipo de material, nomeadamente PET, PEAD e ECAL.

Uma vez reconhecida a tipologia do material pelo espectro existente em memória, é accionado automaticamente um jacto de ar comprimido que ejecta o componente para fora do fluxo, direccionando-o para o colector respectivo.

Este sistema permite a redução do pessoal afecto à triagem, com subsequente redução dos custos operacionais.

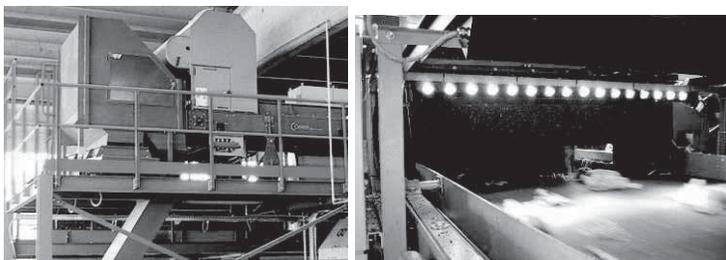


Figura 31 – Separador óptico (Ambirumo)

### 3.3.5 Separadores magnéticos

São equipamentos utilizados para a recuperação de metais ferrosos do fluxo dos resíduos, tirando partido das suas propriedades magnéticas.

Podem apresentar diferentes configurações: tambor, correia ou tela magnética e roldana de cabeça magnética.

O aspecto mais importante a ter em conta prende-se com a selecção da força do campo magnético a aplicar para vencer a altura e peso dos resíduos e retirar os metais ferrosos do fluxo. A força magnética necessária depende do peso do material e da distância deste ao magneto.

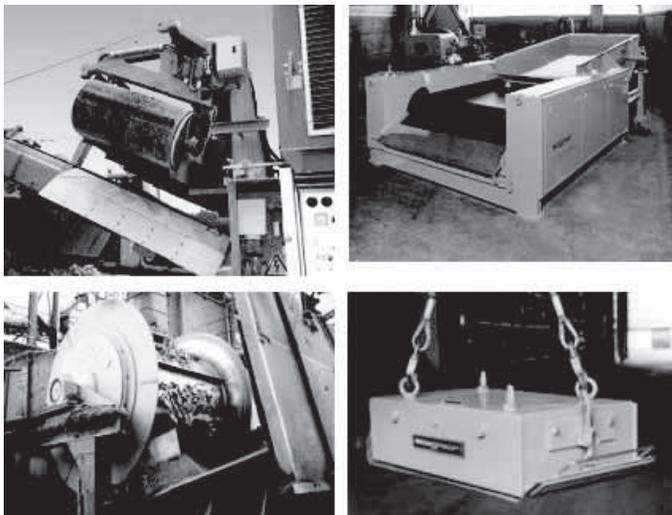


Figura 32 – Separadores magnéticos (Ambirumo)

### 3.3.6 Separadores de metais não-ferrosos

Embora nas estações de triagem mais simples os metais não-ferrosos sejam retirados manualmente do fluxo de resíduos, esta operação pode ser efectuada com recurso a equipamento de separação automática.



Figura 33 – Separador de metais não-ferrosos (Ambirumo)

O seu funcionamento envolve a geração de campos magnéticos repulsivos para os metais não-ferrosos a partir de correntes eléctricas induzidas por um campo magnético variável (corrente de Foucault).

A eficácia da maior parte dos modelos é muito reduzida na separação de latas de alumínio que tenham sofrido uma compactação.

### 3.3.7 Mesas de triagem

Normalmente constituídas por um transportador de banda disposto numa cabina situada numa plataforma acima de silos ou contentores para os produtos triados, são os equipamentos que permitem apresentar os materiais defronte dos postos de triagem manual.

As condições de trabalho para os triadores são de extrema relevância para a eficiência da operação.

Neste sentido, a cabina deve ser aquecida, ventilada, despoeirada e insonorizada, e a mesa de triagem proporcionar condições ergonómicas. Os aspectos relacionados com o comprimento e largura do tapete, altura de trabalho na captação dos materiais e posicionamento das bocas ou contentores de descarga dos materiais triados revestem-se assim de particular importância.



Figura 34 – Mesa de triagem (Ambirumo)

A regulação do fluxo a montante é também um factor de eficácia dos triadores e da qualidade dos produtos.

### 3.3.8 Transportadores

São utilizados em praticamente todas as etapas das linhas de tratamento, para alimentar os equipamentos ou evacuar os materiais após tratamento.

O tapete é o elemento principal, devendo estar adaptado ao tipo de material a transportar em diferentes condições. Pode ser em borracha, o caso mais comum, metálico – garantindo condições anti-abrasão e resistência à carga – ou tela.



Figura 35 – Transportador de banda (Ambirumo)

Diferentes dispositivos complementares permitem associar outras funções à do transporte: regulação de fluxo (transportadores sucessivos, vibrantes, distribuição, extracção).

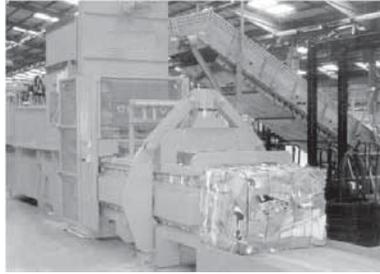
As dimensões propostas pelos construtores são muito variáveis. A largura tem particularmente importância no caso dos tapetes para triagem manual.

### **3.3.9 Prensas**

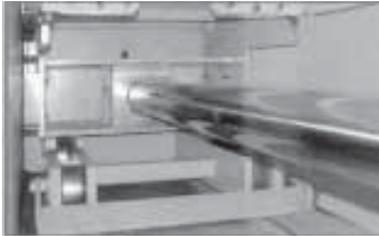
Após a operação de triagem, os diversos materiais obtidos são prensados e enfardados tendo em vista o seu encaminhamento para os respectivos retomadores.

Estas operações promovem o aumento de densidade dos materiais e uma redução do volume dos resíduos com consequentes benefícios ao nível do aumento de eficiência no transporte, com redução dos custos associados.

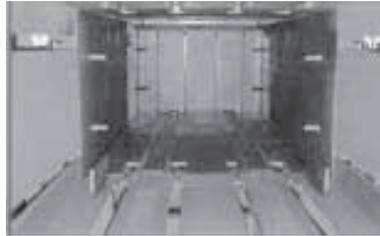
A selecção do tipo de prensa a utilizar deve ter em conta as especificações do tipo de fardos que os retomadores impõem.



(a)



(b)



(c)

Figura 36 – Prensa

(a) aspecto geral (b) pistão de compressão (c) prato de compressão (Ambirumo)

### 3.4 Concepção das instalações de triagem

Da concepção e dimensionamento adequados de um centro de triagem depende em grande parte o seu desempenho.

Desde logo a capacidade de tratamento deve ser bem estabelecida, tendo em conta as características dos resíduos produzidos, os esquemas das recolhas selectivas implementadas e também a taxa de participação esperada no programa de recolha selectiva implementado.

O esquema operativo da instalação, nomeadamente o número de dias de laboração por ano, o número de horas por dia e o número de dias por semana também deve ser equacionado.

Saliente-se que os parâmetros utilizados para o dimensionamento da instalação evoluem com o tempo, essencialmente ao nível das flutuações da qualidade e quantidade dos produtos recolhidos, evoluções tecnológicas, etc., pelo que a estação deve possuir flexibilidade em termos de espaço, adaptabilidade dos equipamentos e de gestão do pessoal que permita fazer frente a essas alterações.

De um bom dimensionamento decorrerão a rentabilidade dos investimentos efectuados e a optimização dos custos de exploração.

O *layout* da instalação deverá atender às zonas distintas destinadas a:

- recepção dos resíduos;
- triagem propriamente dita;
- enfardamento;
- armazenamento dos materiais triados,

para além de outras destinadas aos serviços administrativos, balneários e oficinas.

Toda a instalação deve ser coberta e arejada, com zonas de circulação e manobra e pisos adequados à tipologia de viaturas e equipamentos que os utilizam.

A zona destinada à recepção de resíduos deve ter uma capacidade suficiente para armazenar uma quantidade equivalente a 3–5 dias de recolha.

No que se refere à zona de triagem propriamente dita, a área depende do processo utilizado na separação dos resíduos. Saliente-se que, no caso de instalações mais mecanizadas existe uma grande variedade de disposições possíveis para os equipamentos de separação, o que conduz a ocupações e necessidades diferentes de espaço.

No entanto, existem algumas questões que devem ser salvaguardadas e que se prendem fundamentalmente com a flexibilidade da instalação, conforme mencionado anteriormente.

Assim, para que a instalação se possa adaptar às constantes evoluções do mercado, no que se refere a novos materiais-alvo, deve permitir a integração de novos equipamentos sem comprometer a sua organização de princípio, o que pode ser conseguido através da utilização de alguns equipamentos móveis.

É também conveniente prever um número de silos superior ao estritamente necessário, tendo em vista a triagem futura de um maior número de materiais. Com esse mesmo objectivo, e no caso de triagem manual, o tapete deve ser suficientemente longo de modo a permitir a criação de postos adicionais de triagem.

Também o número de linhas de triagem está relacionado com o número de fluxos a triar. No caso de uma recolha multifluxo existem duas possibilidades:

- triar cada família de produtos em linhas distintas;
- triar os materiais provenientes de cada um dos fluxos sucessivamente na mesma linha de triagem.

Utilizar uma mesma linha de triagem para todos os produtos reduz o nível de investimento inicial, no entanto a produtividade é menor na medida em que certos equipamentos não são utilizados em permanência. Por outro lado, a instalação com mais linhas de triagem requer mais espaço e investimentos maiores.

Para além destas questões, e no caso de triagem manual, importa também dotar a zona de triagem propriamente dita de condições que salvaguardem os aspectos relacionados com a higiene e segurança no trabalho.

Assim, as cabines de triagem devem ser concebidas com isolamento térmico e acústico e climatização, para além de iluminação natural e artificial. Devem ainda dispor de dispositivos de segurança que permitam a paragem da linha.

Outro aspecto importante relaciona-se com a ergonomia das mesas de triagem, uma vez que uma má concepção pode condicionar o rendimento dos operadores.

Entre as zonas de materiais e de equipamentos devem ser garantidos espaços de circulação que permitam uma fácil manobralidade das viaturas de apoio à estação de triagem e em condições de segurança.

## **3.5 Casos de estudo**

### **3.5.1 Estação de triagem da Ilha da Madeira**

A estação de triagem da Ilha da Madeira situa-se no Porto Novo, concelho de Santa Cruz, estando integrada com a estação de transferência da Zona Leste.

#### **Dados gerais**

- população servida: cerca de 246.000 habitantes
- fluxos tratados: resíduos provenientes da recolha selectiva dos ecopontos (vidrões, papelões, embalões)

- capacidade instalada
  - linha de triagem de papel/cartão: 11 t/h
  - linha de triagem de embalagens: 4 t/h
- área total: 2,4 ha (estação de transferência e de triagem)
- data de arranque
  - linha de triagem de papel/cartão: Abril 2007
  - linha de triagem de embalagens: Dezembro 2007
- custo do investimento
  - total (construção civil + equipamento): 7,63 milhões de euros
  - valor da linha de triagem de embalagens (equipamento): 3,4 milhões de euros
  - valor líquido da alteração da linha de triagem de embalagens (equipamento): 1,8 milhões de euros

### **Sistema de triagem**

Na concepção inicial foi seguida a linha tradicional neste tipo de instalações com realizações comprovadas, isto é, assentando num sistema fortemente manual de separação dos materiais.

No entanto, ainda durante a fase de construção, decidiu a VALOR AMBIENTE adoptar desde logo um sistema de triagem automática para as embalagens afluentes à instalação, em substituição da linha sequencial que se iria implementar.

Foi assim possível desenvolver a obra considerando a instalação de raiz de um sistema automatizado para a separação destes materiais, em alternativa a modificações a realizar mais tarde e com necessidade de adaptações com implicações a nível operacional e de custos. A linha de triagem de papel/cartão manteve-se tal como definida no projecto inicial, envolvendo uma pré-triagem de objectos volumosos na zona de descarga e separação manual numa cabina de triagem específica.

Com as alterações introduzidas, a linha de triagem automática de embalagens passou a ter a configuração ilustrada na Figura 37.



indução para as embalagens metálicas não-ferrosas e separadores pneumáticos de filme de plástico.

A acção conjugada destes equipamentos permite a separação de sete materiais diferentes, para além da rejeição dos contaminantes.

É ainda possível a recirculação de materiais, não separados nas diferentes fases, conduzindo-os ao início do processo, de forma a maximizar a recuperação de embalagens dos diferentes fluxos definidos.

Complementarmente o sistema dispõe de duas prensas, uma para metais ferrosos, e a outra para as restantes embalagens, que alimentadas automaticamente irão produzir os fardos de cada tipo de material, de acordo com as especificações definidas para cada um.

### **Pessoal**

- linha de triagem de papel/cartão
  - uma equipa de 6 triadores + 3 operadores
  - tempo de funcionamento: 8 horas/dia × 5 dias/semana
- linha de triagem de embalagens
  - uma equipa de 9 triadores + 3 operadores
  - tempo de funcionamento: 8 horas/dia × 5 dias/semana
- pessoal administrativo: 1 funcionário afecto à estação de triagem

### **Resultados / rendimentos**

- quantidades entradas (Jan. a Out. 2008)
  - papel/cartão: 1.301 t
  - embalagens: 1.219 t
- produtos triados, encaminhados para reciclagem (Jan. a Out. 2008)
  - papel: 329 t
  - cartão: 842 t
  - ECAL: 102 t

- PET: 150 t
- PEAD: 57 t
- plásticos mistos: 72 t
- filme plástico: 200 t
- EPS: 9 t
- ferrosos: 132 t
- não-ferrosos: 3 t
- taxa média de refugos
  - linha de triagem de papel/cartão: 10%
  - linha de triagem de embalagens: 31%
- rendimentos médios na linha de triagem de papel/cartão (considerando 9 homens, 211 dias, 8 horas/dia)
  - papel: 22,0 kg/homem.hora
  - cartão: 56,0 kg/homem.hora
- rendimentos médios na linha de triagem de embalagens (considerando 12 homens, 203 dias, 8 horas/dia)
  - PET: 8,0 kg/homem.hora
  - PEAD: 3,0 kg/homem.hora
  - plásticos mistos: 4,0 kg/homem.hora
  - filme plástico: 10,0 kg/homem.hora
  - EPS: 1,0 kg/homem.hora
  - ferrosos: 7,0 kg/homem.hora
  - não-ferrosos: 0,2 kg/homem.hora

### **Custos operacionais**

- 218 €/t (incluindo amortização de alguns equipamentos, essencialmente, viaturas ligeiras e de transporte de pessoal)
- repartição aproximada dos custos
  - pessoal: 51,1%

- energia: 1,4%
- manutenção: 4,5%
- matérias-primas: 7,2%
- água: 0,4%
- combustíveis lubrificantes: 0,7%
- seguros: 3,3%
- transportes: 24,1%
- outros (incl. amortizações): 7,3%

### **3.5.2 Centro de triagem da Valorsul**

O centro de triagem da Valorsul localiza-se em Vale do Forno, concelho de Lisboa.

#### **Dados gerais**

- população servida: cerca de 1,2 milhões habitantes
- fluxos tratados: papel/cartão; embalagens; vidro (sem linha de triagem)
- capacidade instalada
  - linha de triagem papel/cartão: 12 t/h
  - linha de triagem de embalagens: 4,5 t/h a partir do final de 2007
- ano de arranque: 2002 (alteração da linha de embalagens no final de 2007)
- custo do investimento: 13,2 milhões € (2002); reinvestimento de 2,2 milhões € (2007)

#### **Infra-estruturas**

- área total: 3,5 ha
- área coberta: 7.000 m<sup>2</sup>
- capacidade de armazenamento dos materiais recebidos: 2.000 m<sup>2</sup>

- capacidade de armazenamento dos materiais a expedir: 1.000 m<sup>2</sup>

## **Equipamentos**

- linha de triagem de papel/cartão
  - 1 transportador de alimentação de velocidade variável
  - 1 mesa de triagem com transportador de velocidade variável
  - 1 transportador de alimentação da prensa de enfardamento
  - prensa de enfardamento
  - tipo de triagem: negativa
- linha de triagem de embalagens (após alteração da linha no último trimestre de 2007)
  - 53 transportadores
  - 1 crivo rotativo
  - 1 abre-sacos
  - 1 separador balístico
  - 2 sistema de aspirador de filme automático
  - 2 sistema de aspirador de filme semi-automático
  - 2 separadores ópticos de dupla via
  - 1 separador óptico de simples via
  - 1 perfurador de PET
  - 1 separador de ferrosos
  - 1 separador de não-ferrosos
  - 3 sistemas para tratamento de ar
  - 2 compressores
  - tipo de triagem: automática e manual (triagem parcial de filme e sobretriagem de alguns dos outros fluxos)
- acondicionamento
  - 1 prensa para linha de papel/cartão (12 t/h de capacidade)

- 1 prensa para linha de embalagens (12 t/h de capacidade)
- 1 prensa para material ferroso (1,1 t/h de capacidade)
- 1 prensa para material não-ferroso (0,4 t/h de capacidade)
- apoio
  - 1 pá carregadora
  - 2 multicarregadoras telescópicas
  - 1 empilhador de pinças
  - 1 mini pá de rodas
  - 1 camião (29 t de peso bruto) com «*ampliroll*»

### **Pessoal**

- 2 equipas de 15 operadores semi-especializados, 7 operadores de máquinas, 5 operadores de vigilância e pesagem
- tempo de funcionamento: 2 × 37 h/semana
- pessoal técnico e administrativo: 1 engenheiro, 2 encarregados, 2 técnicos de manutenção, 2 administrativos

### **Resultados / rendimentos**

- quantidades entradas (Jan. a Out. 2008)
  - papel/cartão: 28.490 t
  - embalagens: 8.159 t
- produtos triados
  - PET: 10 a 13%
  - PET Óleos: 0,3 a 0,5%
  - PEAD: 6 a 9%
  - filme plástico: 2,5 a 4%
  - EPS: 0,03 a 0,05%
  - ECAL: 6,5 a 8%

- plásticos mistos: 20 a 22%
- ferrosos: 6 a 8%
- alumínio: 0,3 a 0,5%
- papel/cartão: 1 a 2%
- taxa média de refugos
  - linha de triagem de papel/cartão: 0,5%
  - linha de triagem de embalagens: 35 a 40% (com a nova linha de triagem ainda em fase de ajuste)

### **Custos operacionais**

- 240 €/t entrada (na linha de embalagens, incluindo amortização do investimento)

### **Aspectos relevantes**

A linha de triagem de embalagens sofreu uma alteração no último trimestre de 2007, que permitiu a automatização do processo, aumento de capacidade de processamento, diminuição do número de colaboradores e diminuição do consumo de energia por tonelada de material processado. Ainda não estão disponíveis dados concretos da capacidade instalada, refugo produzido e quantidade de materiais processados de cada fluxo.

A triagem do filme plástico continua a ser a operação menos conseguida, pois os sistemas de aspiração são de difícil ajustamento e não impedem a contaminação por papel.

A eficiência dos separadores ópticos está muito dependente do caudal a processar.

## 4. VALORIZAÇÃO ORGÂNICA

### 4.1 Tratamento mecânico e biológico

#### 4.1.1 Nota introdutória

A necessidade de desviar resíduos de aterro, sobretudo a componente biodegradável devido às emissões provocadas pelo biogás e efeito, principalmente do metano, nos Gases com Efeito de Estufa (GEE), conduziu ao desenvolvimento de processos de estabilização dos resíduos, e, se possível, ao aproveitamento dos produtos resultantes como forma de atenuar aquele efeito e gerar recursos que minimizem o custo da gestão de resíduos.

Os tratamentos mais correntes de estabilização dos resíduos biodegradáveis são a compostagem, processo aeróbio, e a digestão anaeróbia.

Independentemente do modo como os resíduos são recolhidos, a preparação do substrato para qualquer daqueles processos pressupõe a necessidade de operações de natureza mecânica.

Surge assim o conceito de tratamento mecânico e biológico (TMB), termo que é utilizado genericamente para designar a integração de várias operações usualmente desenvolvidas em instalações de gestão de resíduos, tais como, triagem, compostagem e ou digestão anaeróbia, produção de combustível derivado de resíduos, entre outros.

O termo tratamento relaciona a forma como as operações do processo se podem integrar; mecânico refere-se à triagem, separação e redução de tamanho dos resíduos, através de tecnologias de crivagem, trituração, separação granulométrica, etc, obtendo-se produtos potencialmente úteis e/ou fluxos preparados para processamento biológico; e biológico reporta-se a um processo biológico, aeróbio ou anaeróbio, que permite a transformação da fracção de resíduos biodegradável num produto estabilizado e no caso de o processo utilizar a digestão anaeróbia, também em biogás, com potencial de valorização energética.

Na fase de **tratamento mecânico** são separados materiais recicláveis e refugos, podendo parte destes ser aproveitados como combustíveis em função do seu potencial energético, enquanto a parte restante é rejeitada para aterro. A fracção orgânica é naquela fase separada dos restantes materiais com maior ou menor grau de

contaminação, sendo encaminhada para **tratamento biológico** por compostagem e/ou digestão anaeróbia.

No TMB pressupõe-se normalmente que o tratamento mecânico se realize previamente ao biológico. No entanto, existem soluções em que o tratamento biológico precede o mecânico (o qual pode também ocorrer de modo repartido, antes e depois do biológico).

A flexibilidade do TMB permite que este possa ser integrado na maioria das estratégias de gestão de resíduos, coexistindo de uma maneira geral com outras operações de gestão de resíduos, quer a montante, quer a jusante.

A Figura 38 apresenta o diagrama de blocos do TMB convencional.

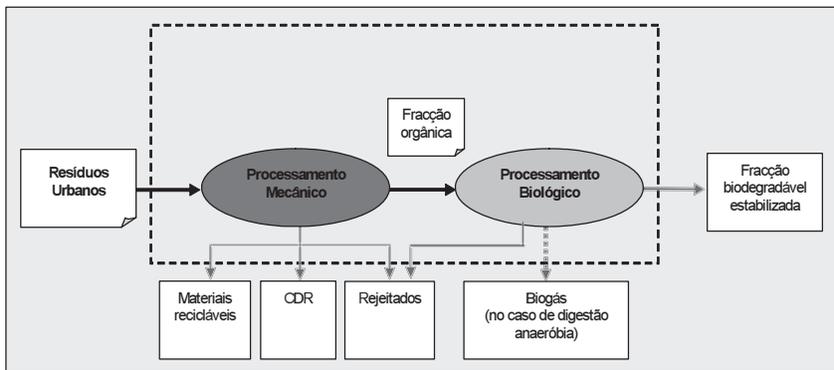


Figura 38 – Diagrama de blocos do TMB convencional

Em síntese, como resultado de um processo de TMB:

- uma quantidade de materiais **recicláveis** (papel/cartão, plástico, metal, vidro), consoante o grau de contaminação, pode ser enviada para reciclagem multimaterial;
- os **refugos**, em função do custo de cada solução, poderão ser incinerados, utilizados para produção de combustível derivado de resíduos (CDR) para valorização energética ou rejeitados para aterro, desde que devidamente estabilizados;
- a **fracção orgânica**, após **processamento biológico**, constitui um produto estabilizado com diversas potencialidades de aplicação;

- caso o tratamento biológico contemple a digestão anaeróbia, o **biogás** é também um subproduto do processo, com potencial aproveitamento para valorização energética.

A estratégia de gestão de resíduos em território nacional, preconizada no PERSU II (Eixo III/Medida 4, relativa ao reforço dos sistemas ao nível de infra-estruturas e equipamentos), prevê a implementação do TMB, permitindo deste modo a valorização da componente orgânica dos resíduos, o aumento significativo dos valores da reciclagem de alguns materiais, bem como a valorização energética resultante da produção de CDR, e deste modo contribuir para as metas de desvio de resíduos de aterro.

O TMB surge assim como uma solução para a prossecução dos objectivos nacionais e comunitários de gestão de resíduos, em particular no que diz respeito:

- ao incremento das taxas de reciclagem por valorização multimaterial;
- ao aumento da valorização orgânica de resíduos urbanos biodegradáveis (assumindo para tal o seu desvio de aterro);
- à redução da deposição em aterro dos resíduos não passíveis de valorização material ou orgânica (entendendo-se estes como os resíduos que resultam de operações de tratamento e valorização), potenciando a sua utilização como combustíveis alternativos, susceptíveis de diminuir o recurso a combustíveis fósseis.

#### **4.1.2 Princípios de funcionamento do TMB**

Tratando-se de um sistema integrado que combina operações mecânicas e biológicas, o TMB pode abranger uma vasta gama de tecnologias, configurando diferentes processos de tratamento que poderão ser articulados de forma variada, tendo em conta os objectivos a alcançar.

O facto de se tratar de um processo que possibilita diferentes combinações de operações, tendo em vista diferentes objectivos, determina que a sua complexidade e funcionalidade possam variar significativamente.

O TMB pode ser utilizado no processamento dos RUB recolhidos selectivamente e dos resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente, desde que se assegure que a instalação seja

devidamente adequada à composição e tipo de resíduos a processar.

Contudo, a composição física e química dos resíduos que aflui à instalação de TMB irá influenciar a qualidade final dos produtos resultantes do processo, sobretudo no que diz respeito ao seu conteúdo em substâncias poluentes.

O processamento de resíduos urbanos da recolha indiferenciada potencia a recuperação de materiais recicláveis e a produção de um produto com aplicação como CDR, em detrimento de um produto orgânico estabilizado, cuja qualidade poderá ser inibidora da sua utilização como composto, face à maior probabilidade de contaminação, comparativamente ao composto proveniente do tratamento biológico de RUB.

Pelo contrário, nas instalações de TMB que recebam apenas resíduos provenientes da recolha selectiva, antevê-se uma pequena quantidade de rejeitados do fluxo selectivo de RUB, com baixo poder calorífico, os quais não poderão ser considerada como CDR, dado que não se apresentam como potenciais combustíveis de substituição, permitindo no entanto a obtenção de produto orgânico estabilizado, que deverá constituir um composto de qualidade com valor comercial.

A Figura 39 apresenta o diagrama de blocos do TMB alimentado pelo fluxo selectivo de resíduos urbanos biodegradáveis, com potencial para produção de composto de boa qualidade.

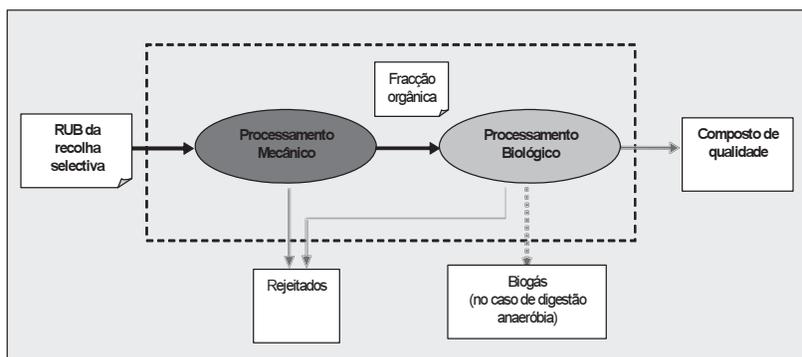


Figura 39 – Diagrama de blocos do TMB alimentado por resíduos da recolha selectiva

A Figura 40 apresenta o diagrama de blocos do TMB alimentado por resíduos provenientes da recolha indiferenciada, com particular destaque para a produção de refugos com poder calorífico elevado e de um produto bio-estabilizado.

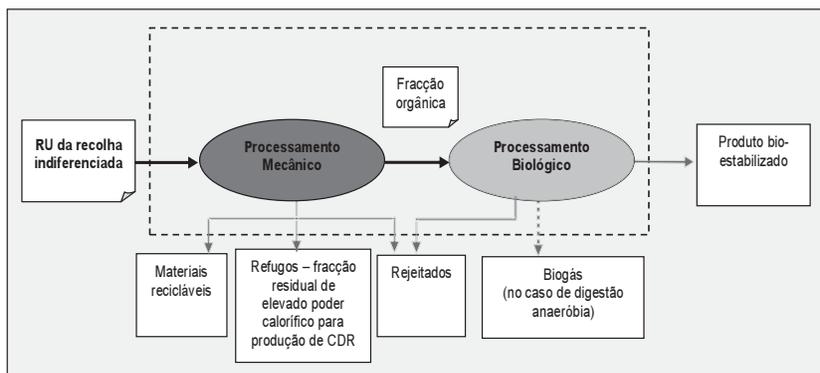


Figura 40 – Diagrama de blocos do TMB alimentado por resíduos da recolha indiferenciada

Uma vantagem do TMB em relação a outras opções de tratamento de resíduos é a sua capacidade de adaptar-se a diferentes escalas e tipologias de produtos, pela facilidade de integração dos processos e equipamentos que concorrem para a obtenção dos objectivos pretendidos.

#### 4.1.3 Produtos do TMB

O processo de TMB é concebido para produzir um produto principal valorizável ou, em determinados casos, mais do que um, designadamente:

- composto (correctivo de solos);
- combustível derivado de resíduos (CDR) ou combustível sólido recuperado (CSR) em função das respectivas características;
- biogás (quando o tratamento biológico se desenvolve em condições anaeróbias);
- resíduo bio-estabilizado a enviar para aterro ou com potencial utilização comercial, em função das suas características organoléticas.

Independentemente da configuração implementada, os sistemas de TMB têm em comum o facto de produzirem:

- uma gama de materiais recicláveis, como metais e por vezes papel, plásticos e vidro;
- um fluxo de rejeitados do processamento mecânico que devem ser depositados em aterro.

Em termos práticos é fundamental avaliar se um produto obtido é um recurso com aplicação viável no mercado ou um resíduo a eliminar. O facto de o produto não ser comercialmente viável pode ter um impacte significativo nos custos da instalação (as receitas transformam-se em custos de eliminação) e é provável que o seu desempenho não cumpra os objectivos de desvio de aterro e resulte em penalidades financeiras significativas para as entidades gestoras.

Neste sentido, para cada sistema de TMB é fundamental identificar claramente todos os produtos e classificá-los em materiais comercialmente viáveis ou resíduos não passíveis de valorização. Além disto, é necessário conhecer com o maior detalhe possível os balanços de massa e energia e determinar a percentagem de resíduos que é possível desviar de aterro.

O Quadro 23 apresenta uma lista de aplicações específicas para os principais produtos do TMB.

Comparar a eficiência dos TMB e avaliar até que ponto cumprem os objectivos para o qual são implementados é uma tarefa fundamental para:

- identificar detalhadamente cada produto e avaliar a respectiva composição;
- avaliar qual o uso mais adequado e identificar eventuais impactes sobre o ambiente e saúde pública;
- identificar a produção potencial do produto;
- confirmar que todos os produtos do processo são comercialmente viáveis e que os aspectos económicos inerentes à sua utilização foram realmente avaliados;
- assegurar a coerência entre os recursos recuperados e os objectivos nacionais de reciclagem e desvio de resíduos de aterro.

Quadro 23 – Potenciais aplicações para os produtos do TMB

<b>Produto</b>	<b>Aplicações</b>
Composto (correctivo de solo)	Agricultura (como correctivo orgânico em culturas alimentares). Silvicultura (como correctivo de solo). Terrenos de culturas de crescimento rápido. Como condicionador de solo em zonas áridas – solos pobres (melhora a estrutura e retenção de humidade do solo). Jardins. Cobertura de aterro.
Combustível (CDR e CSR)	Co-combustível para combustão directa em instalações de energia. Co-combustível em cimenteiras (fornos de cimento). Co-combustível em caldeiras industriais. Combustível para unidades de incineração dedicadas. Co-combustível em unidades de incineração. Combustível para instalações de gaseificação dedicada.
Biogás	Produção de energia eléctrica e térmica. Produção de combustíveis.
Resíduo bio-estabilizado	Cobertura diária dos resíduos depositados em aterro. Deposição em aterro.
Materiais recicláveis	Reciclagem.

A análise técnica que se descreve a seguir dos principais produtos gerados pelo TMB é um factor na decisão a tomar quanto ao tipo e complexidade da instalação a implementar.

### **Composto**

O Quadro 24 permite analisar a aceitação das potenciais aplicações do composto e similares em função de diferentes parâmetros.

Quadro 24 – Aceitação das aplicações do *output* como composto

Aplicações	Funcionamento técnico	Balanco oferta/procura	Custos	Política e regulamentação	Mercado
Agricultura (como composto agrícola em culturas de alimentos e campos de pasto)	✓	✓	?	x <sup>1</sup>	!
Silvicultura (como correctivo de solo)	?	✓	?	?	!
Terrenos de culturas de crescimento rápido	✓	!	?	?	?
Como condicionador de solo em zonas áridas de solos – solos pobres (melhora a estrutura e retenção de humidade do solo)	✓	x	✓	!	!
Em aplicações hortícolas	?	?	✓	x <sup>1</sup>	!
Jardins domésticos	✓	?	✓	x <sup>1</sup>	!
Fertilizante	?	✓	✓	!	!
Terrenos para plantação de plantas ornamentais	✓	?	✓	✓ <sup>2</sup>	✓ <sup>3</sup>
Cobertura de aterro	✓	?	✓	✓	✓
Espaços industriais abandonados (terrenos contaminados)	✓	✓	✓	✓	✓ <sup>3</sup>

Notas:

1. Deverá obedecer a regulamentação e critérios específicos (especificações técnicas), designadamente no que diz respeito aos metais pesados.
2. Como correctivo de solos, respeitando determinadas especificações técnicas (menos exigentes do que para o composto).
3. Supondo que o utilizador recebe um incentivo financeiro:

x Impedimento total;

! Factores de impedimento significativo;

? Factores de impedimento menos significativo;

✓ Factores potencialmente limitativos, mas não o suficiente para prejudicar a possibilidade de comercialização.

(Archer, 2005)

## **CDR**

O TMB constitui uma tecnologia base utilizada para a separação de uma fracção residual de elevado potencial calorífico, composta essencialmente por resíduos de plásticos, papel e têxteis (constante nos fluxos de resíduos recolhidos indiferenciadamente e de refugos ou rejeitados de outros processos de tratamento) que poderá ser utilizada como combustível derivado de resíduos.

CDR é a designação genérica dos combustíveis derivados de resíduos não obedecendo a características técnicas específicas.

O combustível sólido recuperado (CSR) é o combustível sólido preparado a partir de resíduos não perigosos de acordo com a especificação técnica CEN/TS 15357:2006, a ser utilizado para recuperação de energia em instalações de incineração ou co-incineração e que cumpre os requisitos de classificação e preçõnizados na especificação técnica CEN/TS 15359:2006.

A produção de CDR poderá vir a ser considerada como solução para o tratamento de resíduos indiferenciados, previamente à deposição em aterro, na medida em que permite a separação de mais algumas fracções recicláveis, valorizáveis energética e organicamente, resultando apenas rejeitados sem qualquer possibilidade de tratamento que vão ao encontro da definição dos resíduos últimos (resíduos cuja valorização nas várias formas não é possível) (CEBQ/IST, 2006).

Os potenciais utilizadores de CDR são instalações termoeléctricas com caldeiras de carvão e indústrias de grande intensidade energética, tais como cimenteiras, celulosas e processos metalúrgicos, pelo que as limitações ao uso do CDR como combustível de substituição, e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento no mercado, são ditadas pelas políticas e instrumentos que regulam esses sectores (CEBQ/IST, 2006).

São também potenciais utilizadores unidades de incineração convencionais de resíduos indiferenciados, havendo que acautelar as quantidades a utilizar em função da carga térmica da instalação e unidades de incineração dedicadas com tecnologias adequadas ao poder calorífico do CDR a queimar.

O Quadro 25 apresenta as potenciais aplicações do CDR em função de diferentes parâmetros.

Quadro 25 – Aceitação das aplicações do *output* como CDR

Aplicações	Funcionamento técnico	Balanco oferta/procura	Custos	Política e regulamentação	Mercado
Co-combustível para co-combustão directa	!	✓	! <sup>1</sup>	?	! <sup>1</sup>
Combustível para co-combustão indirecta em instalações de energia	?	✓	! <sup>1</sup>	✓	! <sup>1</sup>
Co-combustível em cimenteiras (foros de cimento)	✓	!	?	✓	! <sup>2</sup>
Co-combustível em caldeiras industriais	? <sup>3</sup>	!	? <sup>1</sup>	?	? <sup>1,2</sup>
Combustível para unidades de incineração dedicadas	✓	✓	?	✓	!
Combustível para instalações de gaseificação dedicada	?	✓	?	✓	?
Co-combustível para unidade de incineração existente	✓	x	?	✓	✓

Notas:

1. Se o CDR tiver qualificação para entrar no mercado dos certificados verdes então, esta opção será mais valorizada com consequentes benefícios económicos significativos; neste caso a permissão para considerar o seu uso como combustível de substituição podia ter um impacto económico favorável, com reflexos positivos no mercado.
2. Os produtores dependentes de energia (como cimento, papel e processos químicos) têm tendência a substituir o combustível fóssil por combustíveis derivados de resíduos, mas a competição do combustível derivado do TMB é intensa para pneus, solventes.
3. O grau de desafio técnico variará entre indústrias, mas há algumas onde estes desafios podem se controlados:
  - x Impedimento total;
  - ! Factores de impedimento significativo;
  - ? Factores de impedimento menos significativo;
  - ✓ Factores potencialmente limitativos, mas não o suficiente para prejudicar a possibilidade de comercialização.

(Archer, 2005)

#### 4.1.4 Condicionantes de utilização

Apesar das inúmeras vantagens da utilização do TMB, ainda há obstáculos significativos a ultrapassar.

Actualmente o TMB é utilizado para diferentes objectivos estratégicos, facto que desperta opiniões divergentes e contraditórias sobre a sua capacidade técnica no processamento dos resíduos.

O TMB tem associado um risco tecnológico baixo mas um risco de mercado elevado.

Por exemplo, uma potencial fragilidade dos sistemas de TMB reside na dificuldade de escoamento do CDR ou CSR, considerando-se prioritária a criação de normas específicas para a utilização de CDR ou CRS como combustível de substituição na indústria e a redução da carga administrativa associada à obtenção da respectiva licença (CEBQ/IST, 2006).

Para que os processos de TMB contribuam para os objectivos estratégicos nacionais e comunitários, as aplicações dos seus produtos têm de ser classificadas como «valorização». Caso sejam classificadas como «eliminação» o TMB perde significativamente as suas vantagens.

Recentemente, o tipo de sistema de TMB que tem despertado maior interesse baseia-se na produção de CDR. Menos relevância tem sido dada aos sistemas focados na produção de outros produtos, designadamente biogás, composto e resíduo bioestabilizado para aterro. No entanto, pelas razões aduzidas, esta situação poderá contribuir para um agravamento da actual gestão de resíduos, na medida em que se traduz em maiores custos de investimento e operação relativamente à situação actual, sem garantia de proveitos que os compensem ou atenuem dada a dificuldade de comercialização de determinados produtos, nomeadamente composto por inexistência de normalização e aceitação do mercado.

#### **4.1.5 Planeamento da implementação**

Na opção pelo TMB, como parte de uma estratégia de gestão integrada de resíduos, é fundamental a promoção e desenvolvimento de um estudo, tão detalhado quanto possível, de forma a avaliar qual a combinação de elementos (mecânicos e biológicos) que garantirá o cumprimento eficiente dos objectivos que se pretendem obter do sistema.

A abordagem a desenvolver para a realização do estudo de viabilidade do TMB deverá contemplar as seguintes etapas (Figura 41):

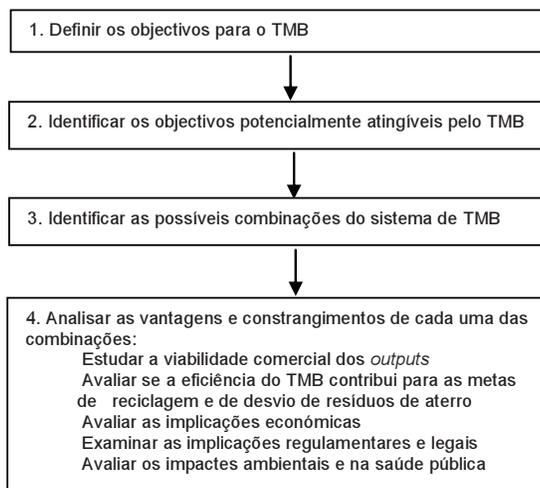


Figura 41 – Abordagem de um estudo de viabilidade de TMB

#### 4.1.6 Custos

A informação relativa aos custos de investimento e exploração de sistemas de TMB é escassa.

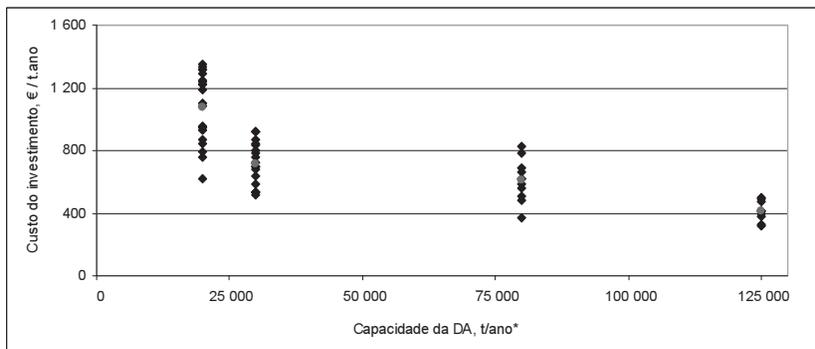
Os dados relativos a instalações existentes são dificilmente comparáveis, já que estas unidades operam em diferentes países, processam diferentes tipos de resíduos, com diferente qualidade de produtos, sob diferentes condições económicas, o que significa que escolher sistemas de TMB com base nesta informação pode conduzir o decisor a falsas conclusões.

Os custos de investimento dependerão sobretudo do tipo de resíduos a tratar, da fracção de recicláveis a separar, do tipo de valorização orgânica (e daí uma maior ou menor complexidade do sistema) e do grau de afinação requerida para o produto resultante do processamento biológico (maturação, remoção de contaminantes).

Os valores das propostas apresentadas nos concursos nacionais lançados em 2006/2007 por vários sistemas municipais e multimunicipais para a construção de TMB com digestão anaeróbia permitem referenciar os custos de investimento deste tratamento.

Na Figura 42 apresentam-se os preços propostos, expressos em €/t.ano, e respectivos valores médios (pontos a vermelho), para a implementação de instalações de TMB de diferentes capacidades

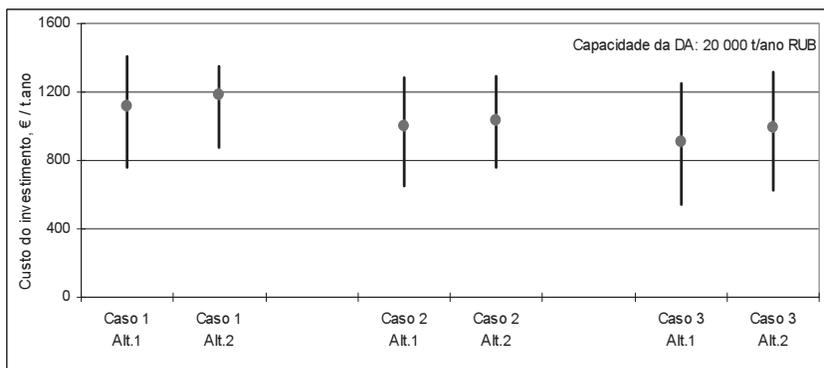
de tratamento de RUB provenientes da recolha selectiva e da recolha indiferenciada.



\* RUB provenientes da recolha indiferenciada e selectiva.

Figura 42 – Preços de unidades de TMB (DA)

Na Figura 43 apresenta-se a gama de variação e o valor médio (pontos a vermelho e verde) dos preços propostos para três casos de instalações de TMB (DA) com a mesma capacidade (20.000 t/ano de RUB), considerando as alternativas dos RUB serem provenientes da recolha indiferenciada e selectiva ou unicamente da recolha selectiva.



Alt.1 – RUB provenientes de recolha selectiva.

Alt.2 – RUB provenientes de recolha indiferenciada e selectiva.

Figura 43 – Gama de variação de preços de TMB (DA) considerando o tratamento de RUB da recolha indiferenciada e selectiva ou apenas da recolha selectiva

#### 4.1.7 O caso da instalação de produção de CDR de Florença

A Unidade de Triagem e Compostagem de Case Passerini, em Florença, foi construída com o objectivo de produzir combustível derivado de resíduos (CDR) destinado a alimentar uma unidade de gaseificação (Greve-in-Chianti, localizada nos arredores de Florença).

Com uma capacidade de tratamento de 450 t/dia, esta instalação serve uma população de aproximadamente meio milhão de habitantes dos municípios de Florença, Sesto Fiorentino, Campi Bisenzio e Calenzano Signa, abrangendo uma área geográfica de cerca de 300 km<sup>2</sup>.

A instalação de tratamento mecânico e compostagem trata resíduos urbanos indiferenciados e resíduos orgânicos provenientes da recolha selectiva: cerca de 120.000 t/ano de RU e 25.000 t/ano de resíduos orgânicos e resíduos verdes.

O processo de tratamento instalado permite a produção de CDR, sob a forma de *pellets* ou a granel, triturado e acondicionado, utilizado posteriormente em instalações de valorização energética para a produção de electricidade.

A fracção orgânica contida nos resíduos indiferenciados é separada mecanicamente e estabilizada, obtendo-se um resíduo bio-estabilizado utilizado como cobertura em aterro.

Os resíduos orgânicos da recolha selectiva, juntamente com os resíduos verdes (podas das plantas), são tratados para produzir composto a utilizar na agricultura.

Todas as operações são realizadas no interior da instalação. Nos locais onde a possibilidade de ocorrência de odores é maior, o ar é aspirado e tratado antes de ser disperso na atmosfera.

Na Figura 44 apresenta-se o *layout* da instalação.

##### Recepção

Os resíduos são descarregados numa fossa (Figura 45), sendo submetidos a uma trituração grosseira (pré-trituração), e os materiais ferrosos captados por separador electromagnético.

Os resíduos pré-triturados são conduzidos a uma secção da fossa e daqui alimentados a duas das três linhas de selecção para separação mecânica e posterior trituração.

A terceira linha de selecção é alimentada pelos resíduos directamente, uma vez que é dotada de um triturador, instalado na parte inferior da tremonha.

Parte dos resíduos urbanos recebidos na fossa, que excedem a capacidade da instalação, são prensados directamente e encaminhados para o aterro de Case Passerini.

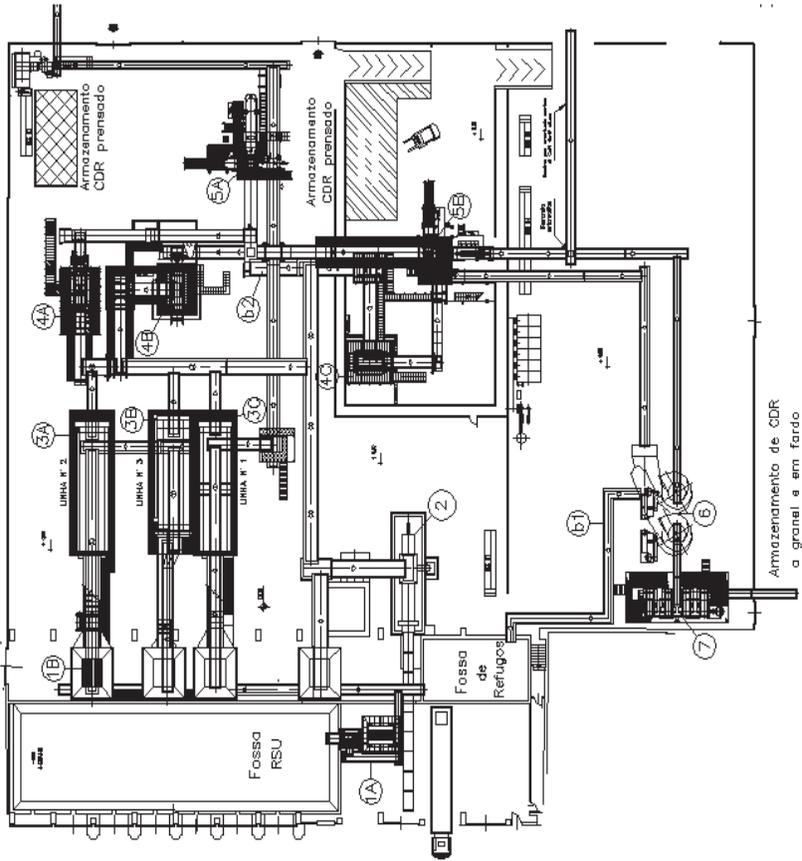
O objectivo desta última operação é reduzir o volume de resíduos, a fim de permitir uma utilização mais racional do aterro.

### **Seleccção dos resíduos**

Nas linhas de selecção, os resíduos pré-triturados são submetidos a um processo de separação de diferentes fracções em função da dimensão, por meio de um tromel com malha perfurada de 60mm.

Obtêm-se assim duas fracções:

- fracção de granulometria inferior a 60 mm, designada fracção orgânica, que é enviada para bioestabilização;
- fracção de refugo de granulometria superior a 60 mm, constituída fundamentalmente por material combustível, que é enviada para trituradores (para redução da dimensão) e, posteriormente, para a produção de CDR.



- Legenda:**
- 1A/ 1B – Trituradores primários
  - 2 – Prensa
  - 3A/ 3B/ 3C – Linhas de selecção
  - 4A/ 4B/ 4C – Trituradores
  - 5A/ 5B – Pressas para CDR
  - 6 – Separação aerúlica
  - 7 – Prensa
  - b1 – Transportador de refugos
  - b2 – Transportador de CDR

Figura 44 – *Layout* da instalação de selecção e compostagem de Case Passerini (Florença, Itália)

Após a triagem, em ambos os casos o material é encaminhado para separadores electromagnéticos para remoção de metais ferrosos ainda presentes.

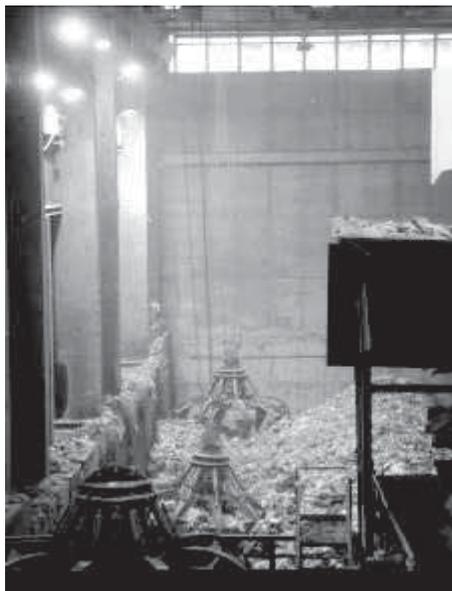


Figura 45 – Fossa de resíduos (Ambirumo)

## Produção de CDR

- **CDR a granel em fardos**

Uma opção de acondicionamento prevista para o refugo combustível é a prensagem em fardos.

Nesta solução, a fracção refugo combustível é conduzida a um segundo separador electromagnético e daqui para trituradores, obtendo-se um produto final com granulometria máxima de 100mm.

O material tratado (CDR em *fluff*) passa numa prensa que o comprime em fardos, automaticamente cintados com fita plástica – Figura 46, de modo a permitir um melhor armazenamento e diminuição do custo de transporte até à unidade de combustão.



Figura 46 – CDR a granel prensado (Ambirumo)

- **CDR em *pellets***

O segundo processo previsto para a fracção refugo combustível é a sua transformação em *pellets*.

Neste caso, tal como na produção de CDR a granel, a fracção de combustível a transformar em *pellets* é conduzida a um triturador, obtendo-se um material de granulometria não superior a 100 mm.

Este material é então submetido a uma separação das fracções ligeira e pesada através de um sistema de ciclone.

O material ligeiro é descarregado sob um transportador que alimenta quatro equipamentos de peletização (250 kW de potência cada), donde resulta o CDR em forma de *pellets*, com cerca de 2 cm de diâmetro e 2 a 8 cm de comprimento – Figura 47. Este material é recolhido e enviado para armazenamento. O ar utilizado para o transporte é, após tratamento, disperso na atmosfera através de uma chaminé com 25 m de altura.

- **Armazenamento de CDR**

Quer o CDR a granel enfardado, quer o CDR peletizado, são armazenados antes de serem enviados para valorização energética.

O material pode ser armazenado em espaços interiores por vários meses sem criar problemas de cheiro ou fermentação.

O poder calorífico inferior do CDR produzido na instalação varia entre 14.500 e 16.500 kJ/kg.

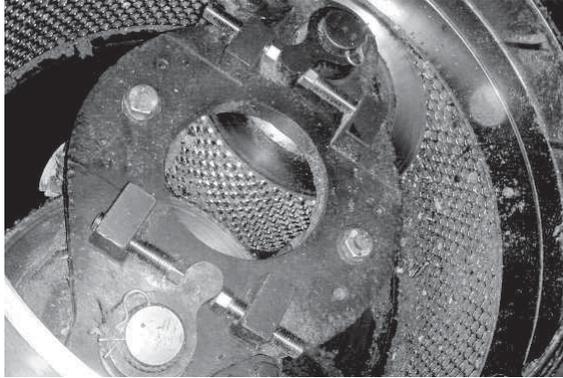


Figura 47 – Máquina de peletização e produção de *pellets* (Ambirumo)



Figura 48 – Armazenamento do CDR (Ambirumo)

## Compostagem

A área destinada ao processamento da fracção orgânica por compostagem é constituída por três zonas distintas: compostagem 1, compostagem 2, edifício A.

○ princípio operacional é o mesmo nas três zonas. Através do auxílio de meios mecânicos, pá mecânica, formam-se pilhas com a fracção orgânica a tratar. Os mesmos meios são utilizados no revolvimento das pilhas.

○ arejamento do processo é garantido através de lajetas perfuradas e ar forçado.

○ tempo de permanência do material nesta secção é de cerca de 21 a 28 dias, com temperaturas da ordem dos 55 a 60°C durante pelo menos três dias. As instalações têm sistemas de extracção de ar que é tratado antes de ser libertado para a atmosfera.

○ material que sai da zona de compostagem 1 (área destinada ao processamento da fracção orgânica, de granulometria inferior a 60 mm retirada no tromel da linha de tratamento mecânico) é afinado através de um crivo rotativo de malha 15 mm e posteriormente, armazenado ao ar livre por cerca de 90 a 120 dias para maturação.

Nesta fase o produto já se encontra estabilizado e não emite qualquer tipo de mau cheiro; tem o odor característico do húmus. É um correctivo de solos e pode ser usado em floricultura, jardinagem, etc.

A zona de compostagem 2 é utilizada para o tratamento da fracção orgânica proveniente da recolha selectiva, misturada com resíduos verdes.

Na zona do edifício A é tratada a fracção orgânica de resíduos provenientes da selecção mecânica dos resíduos urbanos, isto é, o material com granulometria de 80 mm desviado antes do processo de crivagem na linha de selecção. O produto resultante, fracção orgânica estabilizada, é usado directamente como cobertura em aterros sanitários.

## 4.2 Compostagem

O processo de compostagem consiste no aproveitamento do potencial reciclável da matéria orgânica, constituindo-se assim como uma forma de valorização orgânica.

Este processo de valorização consiste na recuperação da fracção biodegradável dos resíduos sólidos que, após decomposição biológica por via aeróbia, origina um produto final estabilizado, inócuo, num estado de total ou parcial humificação que permite a sua introdução no solo de forma fitocompatível e é designado por composto.

Estas características agronómicas devem ser acompanhadas por características físicas, químicas e biológicas para a sua aceitabilidade, designadamente em termos de inertes (vidros, plásticos, etc.), carbono, azoto, metais pesados, humidade e ausência de microrganismos patogénicos.

O composto funciona como um condicionador do solo, em virtude das várias acções que nele exerce:

- aumenta a porosidade e capacidade de arejamento do solo;
- aligeira os solos pesados, melhorando as condições de circulação de ar e água;
- aumenta a capacidade de retenção de humidade do solo;
- tem um efeito tampão protector contra aplicações muito intensas de fertilizantes minerais;
- melhora a capacidade de utilização de micronutrientes.

A compostagem é um processo aeróbio, que se caracteriza pelo desenvolvimento rápido da população microbiana presente nos resíduos, com forte metabolismo, que provoca a elevação da temperatura da massa a compostar.

Os resíduos que reúnem as condições mais favoráveis para valorização por compostagem são os resíduos facilmente biodegradáveis – neste sentido, os que têm maior interesse são a fracção orgânica dos RU e os resíduos verdes.

A compostagem poderá ser aplicada quer a resíduos resultantes de uma separação na origem, quer a resíduos urbanos sem recolha selectiva.

Os resíduos orgânicos provenientes da recolha selectiva favorecem este tipo de valorização, quer pela facilidade da sua preparação, quer pela sua qualidade, minimizando o seu grau de contaminação.

Na ausência de recolha selectiva, os processos de tratamento mecânico a montante serão mais complexos, sendo mais difícil a obtenção de um produto estabilizado com características adequadas à comercialização como composto.

Sendo um processo que permite a valorização dos resíduos, através de um produto de particular valor agrícola, a compostagem pode, no entanto, apresentar alguns inconvenientes:

- um controlo deficiente da transformação biológica pode conduzir rapidamente ao aparecimento de zonas de anaerobiose na massa de resíduos, com os consequentes odores e repercussão sobre a qualidade do composto;
- a relativa incerteza em termos do mercado do composto, quer devido a problemas de qualidade, quer à existência de produtos de substituição, agravada normalmente pelo preço de transporte, poderá traduzir-se em dificuldades de escoamento; igualmente a sazonalidade da sua utilização obriga à existência de áreas consideráveis para o seu armazenamento nos períodos de baixa procura;
- as exigências a nível da qualidade e as restrições de ordem ambiental, particularmente as derivadas do teor em metais pesados, podem funcionar como inibidoras da utilização do composto.

#### **4.2.1 Descrição do processo**

Do ponto de vista operacional, as principais etapas de um processo de compostagem são as seguintes:

- pré-tratamento dos resíduos;
- processo de decomposição biológica;
- afinação do composto maturado.

##### **Pré-tratamento**

Destina-se a remover materiais inconvenientes ao processo, melhorar e homogeneizar o substrato para a compostagem e proteger a linha de tratamento.

A maior ou menor extensão desta fase depende fundamentalmente da tipologia dos resíduos, dos sistemas de degradação biológica e das características e qualidade do composto que se pretende obter.

Assim, podem ser desenvolvidas todas ou algumas das operações a seguir descritas:

- triagem de materiais não orgânicos:
  - crivagem
  - triagem magnética
  - triagem manual
  - triagem pneumática e balística
  - triagem electrostática
- redução da granulometria e homogeneização dos resíduos:
  - trituração
- ajustamento da composição do material:
  - mistura

Se a compostagem processar somente resíduos verdes, as operações de pré-tratamento são mais simples, envolvendo nomeadamente:

- triagem manual de materiais contaminantes (sacos de plástico, garrafas, etc.);
- trituração de forma a reduzir e uniformizar as partículas a compostar.

### **Processo de decomposição biológica**

Após o pré-tratamento, o material é sujeito a um processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica.

Este processo desenvolve-se em fases sucessivas em que intervêm diferentes tipos de microrganismos aeróbios:

- **Fase mesófila**

O meio é colonizado por microrganismos mesófilos que degradam a matéria orgânica e produzem dióxido de carbono, ácidos orgânicos e calor, conduzindo a uma diminuição do pH (até 4,5 a 5,5) e elevação da temperatura até cerca de 40°C.

A fase mesófila compreende um período inicial de latência que corresponde ao tempo necessário para os microrganismos colonizarem e se adaptarem ao meio e um período posterior de crescimento, em que se verifica um elevado nível de multiplicação dos microrganismos acompanhado de grande libertação de energia.

- **Fase termófila**

Caracteriza-se por um aumento da intensidade de degradação dos compostos orgânicos, o que se traduz numa elevação da temperatura até 60 a 70°C. Os microrganismos mesófilos são progressivamente substituídos por microrganismos termófilos.

Os ácidos orgânicos produzidos na fase anterior são hidrolisados, verificando-se uma elevação do pH (a cerca de 8), devida à produção de amónia a partir do azoto orgânico.

Esta é considerada a fase de higienização do substrato, dado que as elevadas temperaturas mantidas durante um determinado período de tempo asseguram a eliminação dos organismos patogénicos.

Estas duas primeiras fases são designadas, normalmente, pela fase activa do processo de compostagem.

- **Fase de arrefecimento e maturação**

Nesta fase verifica-se uma diminuição progressiva da temperatura devido à redução da actividade dos microrganismos. Neste período ocorre essencialmente a degradação dos compostos mais resistentes (celulose e lenhina) e reacções de humificação. O pH desce ligeiramente, atingindo valores da ordem de 7 a 8 no composto maduro.

Sendo o processo de decomposição biológica um processo aeróbio, é importante que em qualquer das fases descritas se mantenha uma concentração de oxigénio adequada ao desenvolvimento dos microrganismos intervenientes. Para este efeito é necessário efectuar um arejamento periódico da matéria em decomposição, o qual pode ser efectuado através de dois tipos de sistemas:

- sistema passivo – baseia-se na difusão ou circulação do ar não provocada, sendo o arejamento da massa assegurado pela porosidade do material;
- sistema activo – baseia-se no estabelecimento de contacto entre os materiais em compostagem e o oxigénio do ar por

agitação, revolvimento ou arejamento forçado por aspiração ou insuflação.

O tipo de sistema de arejamento a implementar depende fundamentalmente da composição dos resíduos e dos sistemas adoptados para o processo de decomposição.

### **Afinação**

Esta operação destina-se a remover substâncias indesejáveis, particularmente inertes, e a calibrar o produto obtido. Normalmente efectua-se depois da maturação do composto, mas poderá ocorrer entre a fase activa e a fase de maturação.

Em geral, contempla as seguintes operações:

- triagem de impurezas e inertes (vidros, plásticos, papéis), por crivagem, separação pneumática e balística;
- redução da granulometria do composto, por trituração.

### **4.2.2 Tecnologias existentes**

Os sistemas de compostagem são geralmente classificados em abertos e fechados.

- **Sistemas abertos**

O termo aberto aplica-se à configuração do sistema que permite que o material entre em contacto com o ar circundante.

As instalações podem ser fechadas ou abertas, podendo estas últimas ter cobertura ou não.

O sistema de arejamento pode ser do tipo passivo ou activo, este último podendo implicar o revolvimento da massa em compostagem e/ou um arejamento forçado, por insuflação e/ou aspiração.

- **Sistemas fechados**

Nestes sistemas a degradação biológica do material ocorre em meio perfeitamente hermético, o que permite um maior controlo do sistema, como o caudal de ar, temperatura e concentração de oxigénio, minimizando assim a formação de odores e a duração do processo.

A maior parte dos sistemas são de alimentação contínua e dotados de sistemas de arejamento forçado e de agitação (contínua ou intermitente).

Dada a área e o tempo requeridos para o processo, os sistemas abertos são geralmente preteridos em relação aos sistemas fechados quando os quantitativos de resíduos orgânicos a tratar são elevados.

Dentro dos sistemas abertos, o processo por pilhas com revolvimento, que envolve pouca tecnologia mas um tempo de processamento superior aos restantes, é um processo pouco utilizado a nível dos resíduos orgânicos, constituindo contudo uma boa opção para os resíduos verdes, ou outros de cariz sazonal.

Os processos clássicos por pilhas estáticas arejadas e por pilhas arejadas com revolvimento podem constituir um bom compromisso entre custos e eficiência do processo. No entanto podem apresentar maiores problemas que os sistemas fechados a nível do desenvolvimento de odores.

De salientar que relativamente aos primeiros processos, o seu desenvolvimento em pavilhões fechados permite a aspiração e tratamento dos gases gerados, obviando os problemas referidos.

Este último processo, bem como os existentes a nível dos sistemas fechados, são os que apresentam maior eficiência, menor tempo envolvido e menor impacto ambiental, embora os custos de investimento e de exploração sejam bastante mais elevados.

Estes processos são mais utilizados a nível dos resíduos orgânicos do que a nível dos resíduos verdes isoladamente, dado que a compostagem destes últimos apresenta menores problemas ambientais.

Contudo, saliente-se que o problema dos odores pode também revelar-se problemático na compostagem dos resíduos verdes, sobretudo se na sua composição existir um grande quantitativo de relvas, muito ricas em azoto.

Relativamente aos resíduos orgânicos constata-se que a tendência actual é a sua compostagem com outros resíduos e não isoladamente.

Assim, dado que estes têm um forte teor em água e falta de estrutura, aliado ao facto do quantitativo de papel ser geralmente inferior ao encontrado nos resíduos urbanos, sem recolhas selectivas, com uma relação C/N conseqüentemente mais baixa, pode-se tornar relevante a mistura dos resíduos orgânicos com resíduos celulósicos ou lenhosos estruturantes.

Em qualquer dos tipos de sistemas referidos (abertos ou fechados) poderão os resíduos orgânicos ser processados com os resíduos verdes, actuando estes assim como um agente estruturante, corrector da relação C/N e humidade, o que permitirá operar as instalações com maior eficiência.

### **4.2.3 Controlo do processo**

A manutenção do processo de compostagem dentro de condições favoráveis ao seu correcto desenvolvimento é conseguida através do controlo de diversos parâmetros, nomeadamente os que influenciam a actividade dos microrganismos:

- temperatura;
- pH;
- humidade;
- arejamento;
- relação C/N;
- estrutura e granulometria.

Para além destes parâmetros processuais, o controlo incide também sobre:

- a presença de organismos patogénicos;
- a formação de odores;
- a formação de lixiviados;
- o grau de decomposição da matéria em compostagem.

#### **Temperatura**

A monitorização e controlo da temperatura durante a compostagem reveste-se de grande importância, uma vez que este parâmetro é o melhor indicador da forma como está a decorrer o processo.

A sua monitorização periódica, ou contínua, em vários pontos da massa de resíduos permite identificar o início da fase termófila, as temperaturas nela atingidas e o fim da fase de degradação activa, para além de fornecer indicações quanto às necessidades de arejamento.

O controlo deste parâmetro deve ser feito no sentido de manter condições termofílicas, de modo a acelerar o processo degradativo e contribuir para a higienização do material. Para tal, dever-se-á

assegurar boas condições de oxigenação e o isolamento térmico da massa em compostagem.

Para se garantir a higienização do composto, ou seja, a eliminação dos organismos patogénicos, sementes e raízes, o material deve ser mantido a uma temperatura de cerca de 60°C por um período de cerca de 4 dias, ou a 70°C durante 1 hora.

Este controlo deve ser efectuado de modo cuidadoso, dado que temperaturas superiores a 70°C conduzem à morte da maioria dos microrganismos termófilos, apenas subsistindo bactérias formadoras de esporos que param o processo, e temperaturas superiores a 60°C implicam uma diminuição da actividade biológica e o retardamento do processo de degradação activa.

O aparecimento de temperaturas inferiores a 35°C sugere a existência de um teor de humidade inadequado ao correcto desenvolvimento do processo ou o fim da fase de degradação activa. É possível distinguir estas situações porque no primeiro caso a correcção da humidade implica nova subida da temperatura, correspondente ao retomar das actividades de degradação biológica.

O controlo de temperaturas demasiado elevadas pode ser assegurado através de um adequado revolvimento da mistura em compostagem ou de um aumento do caudal de ar fornecido, no caso de sistemas com arejamento forçado. Outra forma de controlar esta situação é através da adição de água ou da recirculação de lixiviados, em simultâneo com o revolvimento da massa de resíduos.

A correcção de valores de temperatura demasiado baixos obtém-se através do controlo da humidade da massa em compostagem e do seu isolamento térmico.

O isolamento térmico dos resíduos em compostagem é conseguido, em sistemas fechados, através de materiais específicos das paredes do túnel. No caso dos sistemas abertos pode ser conseguido, por exemplo, através de uma cobertura permeável das pilhas, recorrendo, por exemplo, a uma camada fina exterior de composto maduro, ou a terra ligeira ou areia e a uma camada isolante espessa de materiais vegetais secos e triturados.

## **pH**

Tal como a temperatura, este parâmetro varia durante o processo de compostagem e permite avaliar as condições em que o mesmo decorre.

A gama típica de valores que o pH atinge ao longo varia entre 4,5 a 5,5 na fase mesófila e 7,5 a 8,5 no final da maturação.

Valores de pH superiores a 8,5 são indicativos de perdas de azoto sob a forma de amónia, enquanto valores inferiores a 4,5 podem indicar que a taxa de arejamento não é adequada, tendo-se desenvolvido condições anaeróbias que atrasam o processo de compostagem.

Não existem formas de controlar directamente este parâmetro. No entanto, é importante que seja efectuada a sua monitorização periódica, uma vez que influencia a variação dos compostos azotados e a fixação dos metais pesados.

## **Humidade**

A monitorização e controlo da humidade no início e durante o processo de compostagem é fundamental, dado que este parâmetro condiciona fortemente a actividade dos microrganismos envolvidos.

De facto, teores de humidade superiores a 60% conduzem à colmatção dos poros, o que dificulta a difusão dos gases, desenvolvendo-se condições anaeróbias. Por outro lado, quando a humidade é inferior a 40%, verifica-se uma diminuição na taxa de compostagem, podendo haver inibição da actividade dos microrganismos se os valores forem demasiado reduzidos (inferiores a 30%).

Assim, durante o processo de compostagem o teor de humidade dos resíduos deve manter-se entre 40 e 60%. No entanto, estes valores dependem da granulometria da massa em compostagem, dado que quanto maior for a dimensão das partículas, maior será o teor de humidade aceitável.

Teores excessivos de humidade podem ser ajustados pela mistura com composto maturado seco, enquanto as perdas de água durante o processo ou a falta de humidade dos resíduos no início do mesmo podem ser corrigidas pela mistura com componentes mais húmidos, nomeadamente pela adição de água ou recirculação de lixiviados.

## Arejamento

O arejamento é imprescindível no processo de compostagem, devendo garantir:

- o fornecimento de oxigénio suficiente para impedir a formação de condições anaeróbias;
- a remoção do vapor de água formado durante o processo, para manter os níveis de humidade dentro de uma gama adequada;
- a remoção do calor gerado nas reacções de degradação, de modo a controlar a temperatura.

No sistema de arejamento passivo, em que a circulação do ar não é provocada, tem particular importância o controlo, desde o início do processo, dos seguintes parâmetros:

- relação superfície exterior/volume da pilha de compostagem;
- densidade média da mistura a compostar;
- porosidade;
- humidade;
- natureza do substrato.

Este sistema é aplicado em processos de compostagem em pilhas (no caso de se tratarem de resíduos orgânicos há necessidade, quase sempre, de incorporar um agente estruturante).

Os sistemas activos utilizam como métodos de arejamento a agitação, o revolvimento e o arejamento forçado por insuflação ou aspiração.

Neste caso, o controlo máximo do arejamento será obtido por processos que combinem os vários métodos de arejamento:

- decomposição biológica em pilhas não revolvidas com arejamento forçado;
- decomposição biológica em pilhas de baixa altura com revolvimento frequente;
- decomposição biológica em túnel com revolvimento e/ou arejamento contínuo.

A frequência e intensidade do arejamento pode ser regulada manualmente ou em função da temperatura, teor de oxigénio,

humidade e porosidade da massa em compostagem e do tipo de operação.

Este sistema de arejamento é utilizado tanto nos sistemas abertos como nos fechados.

### **Relação carbono/azoto**

É fundamental garantir condições nutricionais adequadas aos microrganismos envolvidos na compostagem, sendo a relação carbono/azoto (C/N) um dos parâmetros mais importantes na definição dessas condições.

O consumo de carbono e azoto durante o processo provocam uma diminuição desta relação devido ao maior consumo relativo de carbono (dois terços como fonte de energia e um terço como nutriente para o crescimento) em comparação com o azoto (utilizado somente no crescimento).

A relação C/N inicial óptima da massa de resíduos a compostar situa-se em valores iguais ou superiores a 25.

Uma relação inicial demasiado baixa traduz existência de azoto em excesso e insuficiência de carbono, sendo parte do azoto convertido em amónia o que poderá inibir o processo e produzir odores. Nesta situação a relação C/N tem tendência para aumentar ao longo do processo em vez de diminuir.

Valores demasiadamente elevados indicam quantidades insuficientes de azoto, que se torna então um nutriente limitante, diminuindo a actividade dos microrganismos e conduzindo a tempos de compostagem demasiado longos.

Para corrigir uma relação C/N inicial elevada pode recorrer-se à mistura de componentes ricos em azoto, tais como relvas e lamas de ETAR. No caso de a relação C/N ser baixa, podem juntar-se materiais ricos em carbono, tais como palha, papel, serradura ou aparas de madeira.

### **Estrutura e granulometria**

A granulometria do material a compostar influencia as condições em que o processo decorre, nomeadamente a circulação do oxigénio e da água, a superfície de contacto entre os resíduos e os microrganismos e a homogeneidade do material.

Em geral, a granulometria dos resíduos não corresponde a uma gama óptima para o processo de compostagem, pelo que é necessário proceder à sua correcção.

Se a granulometria das partículas a compostar for demasiado baixa, há tendência para a compactação dos resíduos e a possível formação de condições anaeróbias durante o processo. Neste caso, deve recorrer-se à adição de um material estruturante (exemplo: palha, caruma, pinheiro seco).

A correcção de uma granulometria demasiado elevada efectua-se pela redução do tamanho médio das partículas durante o pré-tratamento dos resíduos. Esta redução permite aumentar a superfície de contacto entre os resíduos e os microrganismos, o que se traduz num aumento da velocidade de reacção.

### **Organismos patogénicos**

A destruição dos organismos patogénicos e a eliminação de sementes e raízes presentes nos resíduos a compostar deve ser assegurada durante o processo, dado que a potencial contaminação do composto obtido condiciona a sua utilização final.

Para tal, é necessário garantir a obtenção de determinados valores de temperatura durante um período de tempo mínimo.

De acordo com a norma AFNOR NF 44-051 é exigida a manutenção de uma temperatura de cerca de 60°C durante 4 dias para destruir os organismos patogénicos ou pelo menos neutralizá-los eficazmente.

A Environmental Protection Agency (EPA) estabeleceu também normas específicas tempo-temperatura para garantir um correcto controlo de organismos patogénicos, que impõem atingir-se uma temperatura superior a 55°C durante 3 dias em sistemas fechados e pelo menos 15 dias em sistemas abertos.

Por outro lado, Tchoubanoglous *et al.* (1993) referem que o material em compostagem deve ser mantido a uma temperatura de cerca de 60°C por um período mínimo de 4 dias ou entre 60 e 70°C durante 24 horas.

No Quadro 26 resumem-se os valores críticos de tempo-temperatura para vários organismos patogénicos e parasitas que poderão estar presentes nos resíduos.

Verifica-se que os valores tempo-temperatura referidos anteriormente permitem obter uma correcta higienização do composto, eliminando os organismos indesejáveis.

Quadro 26 – Temperaturas e tempos de exposição necessários para a eliminação de vários organismos patogênicos e parasitas comuns

Organismos	Observações
<i>Salmonella typhosa</i>	Nenhum crescimento acima de 46°C. Morte em 30 minutos a 55–60°C e em 20 minutos a 60°C. Destruição rápida no interior do composto.
<i>Salmonella sp.</i>	Morte em 1 hora a 55°C e em 15 a 20 minutos a 60°C.
<i>Shigella sp.</i> <i>Escherichia coli</i>	Morte em 1 hora a 55°C. Para a maioria, morte em 1 hora a 55°C e em 15 a 20 minutos a 60°C.
<i>Entamoeba histolytica</i> (cistos/quistos)	Morte em alguns minutos a 45°C ou em alguns segundos a 55°C.
<i>Taenia saginata</i>	Morte em alguns minutos a 55°C.
<i>Trichinella spiralis</i> (larvas)	Morte rápida a 55°C e instantânea a 60°C.
<i>Brucella abortus</i> or <i>Br. suis</i>	Morte em 3 minutos a 62–63°C ou em 1 hora a 55°C.
<i>Micrococcus pyogenes var. aureus</i>	Morte em 10 minutos a 50°C.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 minutos a 54°C.
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	Morte em 15 a 20 minutos a 66°C ou em alguns instantes a 67°C.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Morte em 45 minutos a 45°C.
<i>Necator americanus</i>	Morte em 50 minutos a 45°C.
<i>Ascaris lumbricoides</i> (ovo)	Morte em menos de 1 hora a temperaturas superiores a 50°C.

Fonte: Tchoubanougous *et al.* (1993)

## Odores

O aparecimento de odores é na maioria dos casos sintoma da formação de condições de anaerobiose.

Os compostos responsáveis pelos odores são essencialmente os seguintes:

- ácidos gordos voláteis como o ácido butírico, que é facilmente metabolizado em condições aeróbias, pelo que geralmente não aparece em quantidades significativas;

- aminas, como a cadaverina e putresceina, formadas a partir de aminoácidos;
- compostos inorgânicos de enxofre (H<sub>2</sub>S e sulfitos), cuja presença revela graves problemas de arejamento e mistura;
- compostos orgânicos de enxofre (mercaptanos, dimetilsulfito).

Os odores provêm muitas vezes da fossa de recepção dos resíduos, podendo também desenvolver-se durante o próprio processo de decomposição se este não for controlado eficazmente.

O aparecimento de condições de anaerobiose na massa em compostagem deve-se essencialmente aos seguintes factores:

- humidade excessiva;
- arejamento insuficiente;
- granulometria inadequada do material;
- controlo ineficiente da temperatura.

A eventual diminuição da formação dos odores passa então por um elevado controlo das condições de decomposição, devendo ser dada particular atenção aos factores anteriormente referidos.

Como métodos de supressão dos odores, podem referir-se:

- utilização de filtros biológicos com base em composto maduro, ou espécies vegetais, ricas em macro-moléculas húmicas que têm a propriedade de absorver e oxidar as substâncias orgânicas que as atravessam;
- adsorção por carvão activado;
- lavagem química em meio ácido, o que permite eliminar os compostos azotados pela reacção com ácido sulfúrico e eliminação por simples dissolução de certos compostos orgânicos solúveis em água, como os álcoois.

Muitas vezes são utilizados os métodos químico e biológico em conjunto.

### **Lixiviados**

Os lixiviados produzidos no processo de compostagem são normalmente drenados e tratados numa ETAR. Pode também recorrer-se à sua recirculação no processo.

#### 4.2.4 Comercialização do composto

A aceitabilidade do composto em termos comerciais requer a qualidade adequada aos diferentes tipos de aplicação.

Nesta situação será o mercado a ditar a forma da sua apresentação, sendo que devido à densidade os custos de transporte a longas distâncias poderão inviabilizar a sua comercialização.

As formas mais correntes de comercialização do composto são a granel, ensacado polvorento e ensacado granulado. Para o efeito é necessário que as instalações sejam dotadas de equipamento específico para a sua preparação e expedição.

Haverá que ter em atenção o facto deste tipo de produto ter uma aplicação sazonal, pelo que as instalações deverão dispor de áreas de armazenamento ajustadas à tipologia das formas de comercialização.

#### 4.2.5 Custos

Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006) estabeleceram funções de custo aproximadas para instalações de tratamento de resíduos, baseando-se em dados relativos a um conjunto significativo de situações concretas na Europa.

Da normalização destes dados, face às suas diferenças em termos de inúmeros parâmetros (dimensão da instalação, tecnologias adoptadas, condições de funcionamento, tipo de resíduos afluentes, características locais, componentes de custo incluídas, etc.), resultaram funções de custo de investimento e de operação do tipo  $Y = \alpha X^\beta$ , sendo X a capacidade da instalação (em t/ano),  $\alpha$  e  $\beta$  constantes (com  $\beta < 1$ , traduzindo o efeito de economia de escala).

A análise foi realizada para um período de dez anos (1993–2003), sendo os custos expressos em euros de 2003.

O custo de investimento refere-se ao custo inicial da instalação, abrangendo os custos de trabalhos preparatórios (caracterização do local, impacte ambiental, estudos hidrogeológicos, aquisição do terreno, projecto) e os custos de construção (preparação do terreno, escavações, edifícios e outras construções, equipamentos, infra-estruturas, acessos, redes de água, efluentes, energia, etc.).

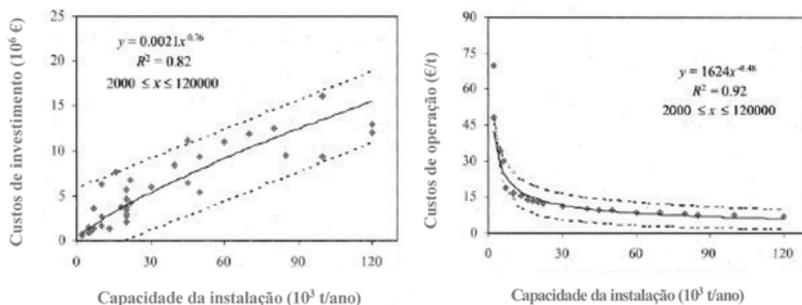
O custo de operação inclui materiais e reagentes, energia e outras utilidades, rejeição de efluentes, pessoal, supervisão, manutenção de instalações e equipamentos, seguros, formação, taxas, etc. Não inclui custos de transporte e eliminação de rejeitados, nem

considera receitas de materiais e/ou energia recuperados. Também não inclui custos de recuperação do investimento.

Relevam os autores a necessária cautela na utilização de tais curvas, devendo por um lado ser tidas em conta as limitações estatísticas e a gama de aplicabilidade, e, por outro, considerados os dados obtidos apenas como ponto de partida no processo de estimação de custos.

Na Figura 49 apresentam-se as curvas de custo construídas para instalações de compostagem, em sistema fechado e aberto, respectivamente.

### Compostagem em túnel (reactor)



### Compostagem em pilha (ao ar)

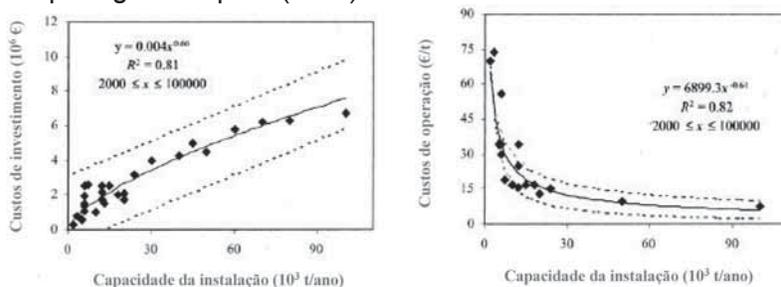


Figura 49 – Custos de investimento e operação de instalações de compostagem (preços 2003)

Salienta-se que os custos são muito afectados pela tecnologia adoptada (equipamentos, tipo de arejamento, períodos de decomposição e maturação, processo de redução de odores, etc.) e pela composição dos resíduos afluentes. Por outro lado, foram

observadas variações de custos devidas à tecnologia escolhida e à capacidade das instalações dentro do mesmo país, tão significativas como variações entre países com a mesma tecnologia.

#### **4.2.6 O caso da CVO da LIPOR**

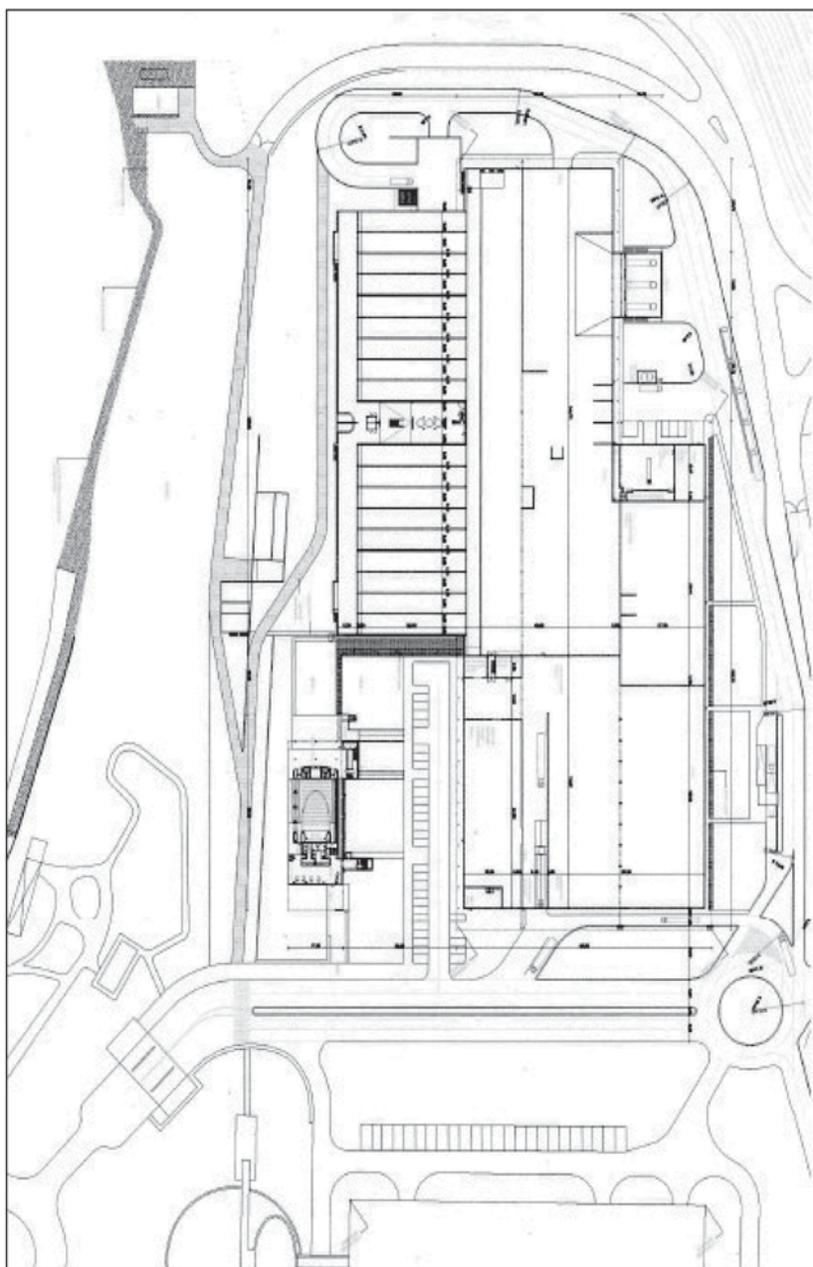
##### **Dados gerais**

- compostagem em túnel, processo GICOM (compostagem integral em túneis fechados, pré e pós compostagem, seguida de maturação)
- capacidade instalada: 60.000 t/ano de resíduos orgânicos/produção estimada de 20.000 t/ano de composto
- tipo de resíduos tratados: resíduos orgânicos, provenientes de recolhas selectivas junto de grandes produtores (restauração, grandes superfícies, mercados), de recolha selectiva porta-a-porta da fracção orgânica de resíduos domésticos), e resíduos verdes
- área total / construída: cerca de 4 ha / 2,5 ha
- custo do investimento: cerca de 30 milhões € (2005)
- início da construção da CVO: Dezembro 2002
- duração da empreitada: 22 meses
- início da fase de ensaios: Outubro 2004
- data de arranque: Maio 2005

##### **Características técnicas da instalação**

- **Recepção**
  - plataforma rebaixada, com pavimento ventilado, em edifício fechado e depressionado
  - separação efectiva entre a zona de trânsito das viaturas e a zona técnica de deposição dos resíduos
  - zonas de descarga por tipo de resíduos

## Planta geral da instalação



- área para recepção de resíduos: 480 m<sup>2</sup> (capacidade de armazenamento para 3 dias)
- **Tratamento mecânico primário e secundário**
  - crivos (150mm/60mm), separação magnética, destruidor para resíduos verdes
- **Alimentação dos túneis**
  - automática/mecânica
- **Compostagem**
  - 18 túneis (12 de pré-compostagem e 6 túneis de pós-compostagem)
  - alimentação dos túneis automática / mecânica
  - controlo do processo por sondas de temperatura e de oxigénio
  - pavilhão com dupla cobertura para controlo das condições térmicas no interior da nave
  - lâmina de água (20 cm de altura) sobre a cobertura dos túneis para controlo da temperatura
- **Maturação**
  - nave com pavimento ventilado – Área disponível: 2.900 m<sup>2</sup>
- **Afinação**
  - separação magnética seguida de crivagem («*spanwelle screen*») com abertura de 10 mm e separação de materiais leves e pesados (separador balístico «*windshifter*»)
- **Armazenamento e ensacagem de composto**
  - área de armazenamento do produto acabado (composto) de 6.700 m<sup>2</sup>
  - sistema automático de ensacagem (sacos de capacidade variável) e paletização
  - sistema de ensacagem em «*big bags*»
  - sistema de granulação

- **Tratamento dos odores**

caudal de ar a tratar: 410.000 Nm<sup>3</sup>/h

- tratamento do ar contaminado: dois lavadores de ar com capacidade unitária de 200.000 Nm<sup>3</sup>/h seguido de sistema de biofiltração com uma área total de 3.130 m<sup>2</sup>, constituído por 18 secções de biofiltro, tendo por meio de enchimento raízes de madeira com areia e argila.
- sistema de exaustão do ar tratado constituído por três condutas verticais equipadas com ventiladores axiais.

- **Controlo dos resíduos recebidos**

Todas as cargas de resíduos entradas na CVO são inspeccionadas com vista à sua caracterização qualitativa e detecção de materiais considerados nocivos para o processo.

São alvo de rejeição imediata todas as cargas que apresentem contaminantes (resíduos perigosos, de acordo com a LER – Lista Europeia de Resíduos e resíduos definidos no Regulamento (CE) 1774/2002 do Parlamento Europeu e do Conselho, que estabelece regras sanitárias relativas aos subprodutos animais não destinados ao consumo humano, são indesejáveis para o processo de compostagem).

São também alvo de rejeição imediata todas as cargas que apresentem:

- mais de 2% (em peso) de plásticos;
- mais de 5% (em peso) de outros contaminantes (tais como: vidro, metais, papeis e cartões impressos e têxteis).

Para as cargas consideradas não-conformes é preenchido o respectivo Boletim de Não Conformidade de Descarga e Controlo de Qualidade e é recolhida e enviada a destino ambientalmente adequado.

• **Requisitos de qualidade do composto produzido**

Parâmetros	Valor garantido
<b>Grau de maturação e estabilização</b>	
Carbono total / Azoto total	< 15
Tx. Humificação (Compostos húmicos)	> 20 %
Ácidos Húmicos/ Ácidos fúlvicos	> 1
Oxigénio consumido	< 100 mgO <sub>2</sub> /(kg.h)
Temperatura máxima atingida	< 35 °C
<b>Teor de matéria e de macronutrientes minerais</b>	
Matéria orgânica *	> 40 %
Azoto (N) *	> 1,1 %
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) *	> 0,7 %
Cálcio (CaO) *	> 5,0 %
Magnésio (MgO) *	> 0,5 %
Potássio (K <sub>2</sub> O) *	> 0,7 %
<b>Metais pesados</b>	
Cádmio (Cd) *	< 1 mg/kg
Chumbo (Pb) *	< 100 mg/kg
Crómio (Cr) *	< 100 mg/kg
Cobre (Cu) *	< 100 mg/kg
Mercúrio (Hg) *	< 0,7 mg/kg
Níquel (Ni) *	< 50 mg/kg
Zinco (Zn) *	< 300 mg/kg
<b>Parâmetros microbiológicos</b>	
Coliformes fecais	< 500 ufc/ml
Estreptococos fecais	< 5000 ufc/ml
Salmonellas spp	ausente
Clostridium perfringens	ausente
<b>Outros parâmetros</b>	
Teor Humidade	< 40 %
pH	6,0 a 8,6
Condutividade eléctrica	< 3 mS/cm a 25°C
Grau de finura	< 1 cm
Teor em inertes (pedras)	< 2 %
Teor em inertes (outras impurezas) *	< 0,2 %

\* expresso em relação a matéria seca

- **Pessoal**

Turno	Funções	N.º
Geral (08h30 às 17h30)	Direcção Técnica	1
	Direcção Exploração	1
	Direcção Qualidade / Laboratório	1
	Técnico Administrativo	1
	Encarregado	1
	Controlador de Qualidade	1
	Serralheiro	1
	Electricista	1
	Manobrador	2
	Técnico de Manutenção	1
Técnico de Laboratório	1	
Turno I (07h00 às 14h00)	Serralheiro (chefe de turno)	1
	Servente	4
	Manobrador	1
Turno II (14h00 às 22h00)	Manobrador (chefe de turno)	1
	Manobrador	1
	Operador de Ensacagem	2
	Servente	1
Turno III (23h00 às 07h00)	Manobrador (chefe de turno)	1
	Servente	1

- **Balanço médio / indicadores de funcionamento**

Resíduos tratados		
Total	28.086	t
Resíduos da restauração e cantinas	6.910	t
Resíduos de mercados e afins	8.522	t
Resíduos da recolha porta-a-porta	0	t
Resíduos verdes (jardins, parques, cemitérios)	12.655	t
Materiais à entrada	3,3	t
Materiais estruturantes recebidos	141	t
Composto produzido	5.667	t
Composto produzido granulado	848	t
Composto ensacado	3.324	t
Composto expedido	4.034	t
Rejeitados produzidos	1.124	t
Metais	22	t
Plásticos	276	t
Outros (pedras, madeiras)	826	t
Custo operacional do tratamento	55	€/t

- **Aspectos relevantes**

Todo o composto produzido é de excelente qualidade, resultando da escolha criteriosa das matérias-primas com que é produzido, da monitorização do processo de compostagem e do controlo de qualidade analítico das matérias-primas, produtos intermédios do processo de compostagem e do composto final.

Qualidade do composto produzido:

- isento de infestantes e de microrganismos patogénicos;
- elevado valor fertilizante;
- actua como agente de luta biológica contra doenças do solo;
- muito rico em compostos húmicos e micronutrientes;
- teor de macronutrientes bastante significativo;
- produto adequado para uma utilização de forma directa;
- pH próximo da neutralidade;
- rentável e eficiente na agricultura em geral e particularmente na fruticultura, viticultura, viveiros e horticultura;
- especialmente recomendado para estufas;
- para aplicações caseiras, é de fácil distribuição mecânica ou manual.

As análises às matérias-primas e aos produtos intermédios da compostagem são efectuadas no laboratório interno da Central. As análises do composto final são efectuadas em laboratórios externos.

A Central encontra-se em processo de certificação pelo sistema integrado NP ISO 9001, NP ISO 14001 e NP 4397.

Alguns constrangimentos:

- Resíduos orgânicos recebidos

A quantidade de resíduos entrados na CVO não atingiu ainda a capacidade nominal. Em 2007 atingiu-se as 28.000 toneladas de resíduos orgânicos (cerca de 47% da capacidade máxima), quantidade que tem vindo a ser incrementada com a extensão das recolhas selectivas porta-a-porta de RUB e em grandes produtores.

Também a composição dos resíduos recebidos difere da estabelecida a nível do caderno de encargos:

Resíduos da restauração e cantinas	35 a 45%
Resíduos de mercados e afins	20 a 30%
Resíduos da recolha porta-a-porta	10 a 15%
Resíduos verdes (jardins, parques, cemitérios)	10 a 15%

em função da experiência entretanto adquirida, evoluindo-se para uma composição que garante uma adequada relação C/N e características do substrato a compostar.

- Equipamento de granulação

No início da exploração, a matriz do equipamento de granulação produzia entre 20 a 25 toneladas de composto granulado. Com o aumento do diâmetro de furacão da matriz (de 4 para 10 mm) e com uma melhor selecção dos resíduos verdes no parque de verdes, a matriz passou a produzir entre 150 a 180 toneladas de composto granulado.

### 4.3 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo biológico que visa o aproveitamento da fracção biodegradável dos resíduos, sendo o processo conduzido na ausência de oxigénio e tendo como produtos resultantes efluentes gasosos – dióxido de carbono e metano, e sólidos – um digerido, que deverá ser estabilizado posteriormente por processos aeróbios.

Em resultado da produção de metano, constitui igualmente um processo energético, pois permite o seu aproveitamento como combustível e, conseqüentemente, a geração de energia calorífica e ou energia eléctrica.

O processo decorre, face às suas características, em ambiente completamente fechado, situação que garante um controlo mais fácil dos compostos voláteis, em particular dos responsáveis de odores, o que não é tão fácil quando o processo se faz em sistema aberto, que é o caso mais usual numa compostagem clássica.

A digestão anaeróbia pressupõe uma triagem adequada dos materiais biodegradáveis com interesse para o processo, o que implica:

- recolha na origem da fracção orgânica dos resíduos;

- triagem e preparação prévia dos materiais a montante do sistema de digestão, no caso de recolha indiferenciada.

No primeiro caso há um aumento significativo dos custos de recolha, enquanto no segundo este custo se repercute sobre o tratamento, havendo no entanto sempre a possibilidade de associar a este pré-tratamento a recuperação de outros materiais com interesse para reciclagem, ou produção de CDR.

Da análise dos sistemas de compostagem e de digestão anaeróbia resulta claro que, para ambos, se torna fundamental à sua eficácia e eficiência uma remoção diferenciada na origem.

Esta questão é mais sensível na compostagem, uma vez que o único produto que se obtém é o composto, requerendo-se para o mesmo uma qualidade que não ponha em causa a sua comercialização.

Efectivamente, as perspectivas de regulamentação do composto, a nível comunitário, orientam-se para severas restrições do ponto de vista da qualidade requerida. Esta situação tornará quase imperativa a necessidade de recolhas selectivas da fracção orgânica, de modo a evitar a sua contaminação pelos restantes componentes dos resíduos.

A digestão anaeróbia, embora com as mesmas exigências, do ponto de vista do produto a compostar, apresenta uma maior versatilidade, em virtude de complementarmente se produzir um gás combustível e poder, portanto, constituir-se como um factor de produção de energia.

Um outro factor importante do ponto de vista de decisão, relaciona-se com a dimensão requerida para as instalações dos dois sistemas em análise. O comportamento da digestão anaeróbia é mais favorável, neste aspecto, devido ao facto de se apresentar mais facilmente modular.

Nestas circunstâncias, a gama dimensional é mais ampla, podendo ajustar-se melhor a uma evolução do crescimento, necessariamente associada, a montante, à crescente abrangência das recolhas selectivas.

Do ponto de vista económico-financeiro, a digestão anaeróbia poderá apresentar alguma vantagem, em função das receitas geradas devido à produção de energia, pese embora os relativos maiores custos de investimento.

### 4.3.1 Descrição do processo

Do ponto de vista operacional, as principais etapas do processo de digestão anaeróbia são as seguintes:

- pré-tratamento;
- digestão anaeróbia;
- estabilização e afinação;
- valorização do biogás.

#### Pré-tratamento

Tal como na compostagem, esta etapa destina-se a remover materiais inconvenientes ao processo, melhorar e homogeneizar o substrato para a digestão e proteger a linha de tratamento.

Nesta fase podem ser desenvolvidas todas ou algumas das operações a seguir descritas e que são condicionadas pela composição dos resíduos e processos de decomposição adoptados:

- triagem de materiais não fermentáveis (plásticos, metais, vidros e partículas de grandes dimensões) por separação manual, pneumática, balística, magnética e crivagem;
- redução da granulometria, por trituração;
- ajustamento das características do material a digerir, por adição de água e nutrientes, ajustamento do pH, aquecimento, mistura.

Os diferentes passos do pré-tratamento podem ser realizados numa única instalação.

Numa primeira fase deste processo, é necessário um mecanismo de abertura de sacos, dado serem estes os meios mais utilizados na deposição dos resíduos urbanos. Em muitos casos o mecanismo de abertura de sacos tem também a função de redução do tamanho das partículas.

Após a abertura dos sacos, a triagem dos materiais não fermentáveis pode efectuar-se por via seca ou por via húmida; a redução da granulometria pode realizar-se antes, durante ou depois do processo de triagem.

Um tipo de processo de separação líquida, que também proporciona redução no tamanho das partículas, é o *pulping*. Os resíduos são misturados com um líquido, que geralmente é o líquido recirculado dos tanques de digestão, e com alguma água

extra para compensar eventuais perdas do mesmo como efluente do sistema. Depois de se ter formado a pasta, os resíduos liquefeitos são bombeados para o sistema de digestão, sendo retida a parte não dissolvida dos resíduos. Quando realizado de forma correcta este tipo de pré-tratamento origina um produto completamente isento de substâncias indesejáveis, não sendo necessária uma separação adicional após a digestão.

As técnicas de separação a seco incluem tambores rotativos com ecrãs pulverizadores, o corte em parafuso com separadores de discos, etc.

### **Digestão anaeróbia**

A digestão anaeróbia decorre em três fases principais, resultando da acção combinada de vários tipos de microrganismos anaeróbios com funções complementares:

- **Fase hidrolítica ou fermentativa**

Envolve a hidrólise de compostos orgânicos de elevado peso molecular (açúcares, proteínas, lípidos) em compostos mais simples (essencialmente ácidos gordos, álcoois e dióxido de carbono) passíveis de ser utilizados como fonte de energia e de novas células.

- **Fase acidogénica**

Nesta fase os produtos da etapa anterior, ácidos gordos e álcoois, são transformados em ácido acético, hidrogénio e dióxido de carbono, devido à acção de bactérias acidogénicas.

- **Fase metanogénica**

Nesta terceira fase as bactérias metanogénicas geram metano. Este último estágio pode ser dividido em duas etapas, visto que um grupo de bactérias (acetófilas) transforma o ácido acético em metano e dióxido de carbono, e outro grupo (hidrogenófilas) transforma o hidrogénio e dióxido de carbono em metano e água.

O resultado de todo este processo é a transformação da matéria orgânica em dois gases, metano e dióxido de carbono, sendo aproximadamente 70% do metano gerado devido à acção das bactérias acetófilas.

## **Estabilização e afinação**

Esta etapa destina-se a complementar a estabilização e higienização do material digerido, remover contaminantes, e produzir um material refinado com uma humidade, granulometria e estrutura física adequadas ao uso final proposto. As operações diferem consoante o método de digestão utilizado.

Na digestão por via húmida, o produto obtido pode ser directamente aplicado no solo (dependendo das suas características e legislação vigente) ou separado em duas fracções – líquida e sólida. Neste caso, a parte sólida pode ser sujeita ou, a um processo de estabilização por compostagem aeróbia, durante cerca de 2 a 4 semanas, obtendo-se um composto aplicável ao solo, ou, a um processo de incineração. A parte líquida poderá ser aplicada directamente no solo, consoante as suas características e legislação vigente, ou tratada numa ETAR.

Na digestão por via seca o material digerido é normalmente desidratado e maturado por compostagem. A maior parte do líquido é reciclada no próprio processo, sendo o excesso tratado numa ETAR ou aplicado directamente no solo, estando esta situação dependente do que se referiu anteriormente – características e legislação vigente.

Em geral esta etapa pode contemplar as seguintes operações:

- desidratação do material digerido, por filtração, centrifugação e/ou prensagem;
- estabilização do material digerido, por processo aeróbio;
- triagem de impurezas e inertes (vidros, plásticos), por crivagem, separação pneumática e balística;
- redução da granulometria do composto, por trituração ou crivagem;
- mistura com aditivos, de modo a melhorar as características do composto.

## **Recuperação do biogás**

O biogás produzido é função do conteúdo energético básico da matéria orgânica digerida e da degradabilidade desta sob determinadas condições.

A digestão anaeróbia de matéria orgânica é realizada por uma comunidade de bactérias. No esforço combinado na degradação do

substrato orgânico em metano e dióxido de carbono, o metabolismo bacteriano necessita de apenas 5 a 10% da energia libertada, sendo os restantes 90 a 95% de energia capturados no metano produzido.

Devido a variações no conteúdo da matéria orgânica seca e nos métodos de pré-tratamento e de digestão anaeróbia aplicados, a produção de biogás pode variar entre 100 a 170 Nm<sup>3</sup> por tonelada de resíduos sólidos orgânicos pré-tratados.

O biogás pode ser utilizado para produzir energia eléctrica e ou energia térmica.

#### 4.3.2 Tecnologias existentes

A digestão anaeróbia é um processo relativamente recente no tratamento de resíduos sólidos, embora seja largamente aplicada no tratamento de lamas de ETAR e resíduos agro-alimentares.

Na última década têm-se vindo a desenvolver vários sistemas diferindo essencialmente no teor de sólidos e nas temperaturas de operação em que decorre o processo.

Em função do conteúdo em matéria seca, podem considerar-se quatro diferentes níveis ou métodos de tratamento (Quadro 27):

Quadro 27 – Métodos de tratamento por digestão anaeróbia

Método	Conteúdo em matéria seca (% sólidos totais suspensos, em peso)
Seco	30 – 50
Semi-seco	12 – 25
Húmido (co-digestão)	8 – 13
Húmido (filtro anaeróbio)	2

Em função da temperatura a que decorre o processo, os sistemas de digestão anaeróbia podem ser classificados em:

- mesofílicos (30°C a 40°C)
- termofílicos (50°C a 65°C)

cujas principais diferenças se sintetizam no Quadro 28.

Quadro 28 – Sistemas mesofílicos *versus* termofílicos

Parâmetros	Sistemas mesofílicos	Sistemas termofílicos
Temperatura	da ordem de 35°C	da ordem de 55°C
Tempo de retenção	maior	menor
Produção de metano	menor	maior
Eficiência de eliminação de patogénicos	menor	maior
Custo de investimento	menor	maior
Consumo energético	menor	maior

A alimentação pode revestir duas formas:

- em descontínuo – o tanque de digestão é completamente esvaziado e cheio de novo em cada ciclo de operação;
- em contínuo – uma pequena fracção do conteúdo do reactor é substituída em intervalos curtos e regulares.

Foram desenvolvidos ao longo do tempo vários conceitos sobre os diferentes processos de digestão anaeróbia, sendo os de melhor aceitação no presente, os seguintes:

### Digestão por via seca

- **Processo contínuo** (mistura completa ou fluxo pistão)

Desenvolve-se num digestor que é alimentado continuamente.

A necessidade de utilizar água é mínima, o que é favorável à obtenção de temperaturas ideais para a digestão se desenvolver em condições termofílicas.

- **Processo descontínuo**

Processo semelhante ao que se desenvolve nos aterros sanitários.

Os resíduos urbanos em bruto são inseridos no reactor e inoculados com o produto da digestão do mesmo ou de outro reactor. O reactor é selado e deixado a digerir naturalmente.

Neste caso há recirculação dos lixiviados, o que permite manter as condições de humidade e redistribuir substratos solúveis e bactérias metanogénicas na massa de resíduos em digestão.

Após a digestão estar completa, o digestor é aberto, descarregado e recarregado com material fresco, de acordo com o processo referido.

Uma das vantagens deste processo é a simplicidade de operação do digestor.

### **Digestão por via húmida**

- **Processo contínuo**

Desenvolve-se num digestor alimentado continuamente.

Para obtenção de um teor de sólidos da ordem de 10%, o material a digerir é previamente diluído com água, quando se trata de resíduos urbanos isoladamente, ou, em casos de co-digestão, com uma água residual ou excreções líquidas de animais.

A matéria-prima diluída e misturada é introduzida num digestor convencional de mistura total, semelhante aos usados no tratamento de águas residuais urbanas ou agrícolas.

Um pré-tratamento cuidadoso e eficiente dos resíduos urbanos é de extrema importância por causa da natureza líquida do sistema.

Assim, materiais como vidro, pedras e metais devem ser removidos para evitar a sua acumulação no fundo dos digestores. Também o tamanho das partículas dos resíduos deve ser significativamente reduzido, para assegurar que a bombagem e mistura se efectuem de maneira estável e eficiente.

- **Processo em várias etapas**

Neste caso as fases da digestão anaeróbia decorrem em diferentes reactores. Numa primeira etapa, dá-se a hidrólise dos resíduos (diluídos em água ou efluente recirculado), libertando-se ácidos gordos voláteis e hidrogénio.

Estes produtos intermédios são posteriormente convertidos em biogás noutra digestor anaeróbio de elevado rendimento (ex: filtro anaeróbio).

De uma forma genérica pode dizer-se que os métodos por via seca apresentam menores consumos de água e uma menor produção de efluentes líquidos (o que implica menores custos de desidratação e tratamento de efluentes), maiores taxas de alimentação e degradação (o que implica um menor volume do reactor) e um menor consumo de energia.

Apresentam como desvantagem a necessidade de um tratamento complementar mais apurado do produto digerido que o processo por via húmida.

A nível dos materiais a tratar refira-se ainda que a digestão anaeróbia não é adequada ao tratamento dos resíduos verdes isoladamente, pois estes têm uma forte componente lenhino-celulósica, que não é facilmente degradável em condições anaeróbias. Nestes casos deve haver mistura com outros resíduos, nomeadamente, com a fracção orgânica dos resíduos urbanos.

No Quadro 29 apresentam-se em síntese os principais aspectos comparativos entre os sistemas por via seca e por via húmida.

Quadro 29 – Processamento por via seca *versus* via húmida

Parâmetros	Via seca	Via húmida
Consumo de água	menor	maior
Efluentes líquidos	menor produção de efluentes líquidos	maior produção de efluentes líquidos, mas menos carregados
Custos de investimento	menores	maiores
Custos de exploração	menores custos de desidratação e tratamento de efluentes	maiores custos inerentes ao tratamento de efluentes
Homogeneização	exige uma mistura eficiente que assegure a homogeneização do substrato	o uso dos resíduos diluídos reduz os problemas relacionados com a homogeneidade e estabilidade
Eficiência	maiores taxas de alimentação e degradação	menores taxas de alimentação e degradação
Digerido	o processo permite a maturação parcial do digerido	necessidade de um tratamento complementar do produto digerido menos apurado
Volume do reactor	menor	maior
Consumo energético	menor	maior

### 4.3.3 Controlo do processo

De modo a assegurar a eficiência do processo de digestão anaeróbia, é necessário controlar uma série de parâmetros, para que as bactérias envolvidas no processo se mantenham num estado de equilíbrio dinâmico, nomeadamente:

- pH;
- temperatura;
- carga orgânica;
- oxigénio;
- humidade;
- relação C/N;
- elementos tóxicos.

Para além destes parâmetros, inerentes ao processo, outros, ligados a aspectos ambientais, à qualidade do produto digerido e à produção de biogás, devem também ser controlados, nomeadamente:

- presença de metais pesados;
- presença de organismos patogénicos;
- formação de odores;
- formação de lixiviados;
- produção de biogás.

No Quadro 30 procede-se a uma análise sumária destes parâmetros, com indicação de alguns valores de referência relativos a processos bem conduzidos.

Detalham-se seguidamente alguns aspectos relativos ao controlo da temperatura e carga orgânica, bem como à presença de metais pesados no produto resultante da digestão anaeróbia.

Quadro 30 – Parâmetros de controlo do processo de digestão anaeróbia

Parâmetro de controlo	Tipo de sistema	
	Via húmida ou baixo teor de sólidos	Via seca ou teor de sólidos elevado
Oxigénio	A ausência de oxigénio é condição essencial para a fase metanogénica, devido aos microrganismos envolvidos serem estritamente anaeróbios.	
Temperatura	– Reactor mesofílico – 30 a 40°C – Reactor termofílico – 55 a 60°C Os processo termofílicos apresentam tempos de retenção inferiores e rendimentos em metano superiores	
pH	Valores óptimos: fase fermentativa e acidogénica – 5,2 a 6,3; fase metanogénica – 7,5 e 8,2. A correcção do pH pode realizar-se através da adição de bicarbonato de sódio ou cal.	
Humidade	A correcção da humidade dos resíduos orgânicos a digerir pode efectuar-se através da adição de água ou da recirculação dos lixiviados provenientes da desidratação do material digerido.	
	Necessária a adição e aquecimento de grande volume de água.	Para o mesmo volume de resíduos orgânicos requer um volume de água menor, comparativamente com a via húmida.
Relação C/N	Deve situar-se inicialmente entre 25 e 35. Pode ser corrigido através da mistura de diferentes tipos de resíduos.	
Elementos Tóxicos	Acima de determinadas concentrações certos elementos podem comprometer o processo de digestão, nomeadamente, sais solúveis, sulfatos, amoníaco, cianetos, etc. Os problemas de toxicidade são menos graves em processos por via húmida devido à elevada diluição da matéria orgânica. Para minimizar os riscos de toxicidade é importante assegurar uma eficiente separação dos materiais inorgânicos.	
Mistura	É essencial assegurar uma mistura eficiente da massa a digerir, de modo a evitar a estratificação e a formação de espuma. Para tal, pode recorrer-se a meios mecânicos ou à recirculação de biogás sob pressão.	Dada a natureza sólida da massa em digestão, não há formação de espuma.
Organismos patogénicos	Em processos termofílicos a eliminação dos organismos patogénicos é assegurada pelas elevadas temperaturas	

Parâmetro de controle	Tipo de sistema	
	Via úmida ou baixo teor de sólidos	Via seca ou teor de sólidos elevado
	atingidas. No caso de processos mesofílicos existe normalmente uma fase anterior ou posterior à digestão, designada por higienização, em que a massa de resíduos é aquecida a temperaturas entre 60 e 70°C durante um determinado período de tempo.	
Odores	Os métodos utilizados para controlar os odores consistem na captação do ar do digestor e outros pontos de emissão e no seu tratamento e passagem através de biofiltro	
Lixiviados	Devido ao elevado conteúdo em água do material digerido, a sua desidratação gera grandes quantidades de lixiviados	O material digerido contém normalmente 25 a 30% de sólidos, o que minimiza o potencial de geração de lixiviados
Biogás	A quantidade e composição do biogás depende principalmente da composição dos resíduos.	
	Obtêm-se valores da ordem de 0,50 a 0,75 m <sup>3</sup> /kg de sólidos voláteis destruídos. A composição do biogás produzido é em média: 55% de CH <sub>4</sub> e 45% CO <sub>2</sub>	Obtêm-se valores da ordem de 0,63 a 1 m <sup>3</sup> /kg de sólidos voláteis destruídos. A composição do biogás produzido é em média: 50% de CH <sub>4</sub> e 50% CO <sub>2</sub>

## Temperatura

A escolha e o controle da temperatura do processo é de importância extrema para o resultado da digestão anaeróbia. A taxa de produção de gás aumenta significativamente à medida que a temperatura do processo vai aumentando de 0°C a um máximo de aproximadamente 60°C.

A maior parte da experiência existente sobre a digestão anaeróbia é proveniente de processos mesofílicos. Contudo o processo termofílico tem vindo a ser cada vez mais utilizado, dadas as vantagens:

- o tempo de retenção necessário no digestor é menor devido à maior taxa de produção de gás;
- há uma destruição eficiente dos organismos patogénicos por causa das elevadas temperaturas do processo;
- há uma melhor digestão das substâncias causadoras de odores (ácidos gordos de cadeias longas);

- a razão entre a formação de nova biomassa bacteriana e o biogás é reduzida.

Há contudo desvantagens no processo termofílico:

- necessidade de uma maior quantidade de energia para o processo;
- maior risco de inibição do processo pela presença de amoníaco.

### **Carga orgânica**

Conforme referido, os sistemas de digestão anaeróbia podem ser alimentados em contínuo ou em descontínuo.

A alimentação do sistema de digestão anaeróbia em contínuo satisfaz as necessidades bacterianas, em termos de substrato fresco, e permite a remoção de alguns produtos excretados do metabolismo bacteriano, como o amoníaco. A capacidade de manter um ambiente estável para o crescimento bacteriano é maior comparativamente à alimentação em descontínuo.

A vantagem da alimentação em descontínuo deve-se à sua simplicidade. Contudo, este sistema de alimentação pode induzir a uma digestão com reduzida eficiência e, eventualmente, a uma perda de potencial gasoso, uma vez que o tempo de retenção pode tornar-se um factor limitante de todo o processo. Isto deve-se principalmente aos efeitos adversos causados pela acumulação de resíduos urbanos.

### **Produtos do processo de digestão anaeróbia**

A viabilidade dos sistemas de tratamento de resíduos por digestão anaeróbia depende da existência de um mercado comercialmente viável para os seus produtos, biogás e digerido. Estes, por sua vez, são influenciados pela qualidade do substrato alimentado ao processo de tratamento.

Independentemente do tipo de resíduos que afluem à instalação, o seu processamento resultará em situações positivas e negativas, que representarão, respectivamente, benefícios e custos para a instalação.

Situações positivas com benefícios ambientais para a instalação:

- composto estabilizado para aplicação na agricultura, horticultura e/ou jardins domésticos;

- efluente com potencial de aplicação desde que devidamente licenciado para tal;
- biogás para valorização energética.

Situações negativas com custos ambientais para a instalação:

- efluente a enviar para uma instalação de tratamento de águas residuais;
- emissões gasosas para a atmosfera resultantes da digestão, combustão do biogás e pós-digestão do composto.

Há contudo a considerar que os produtos obtidos, pelas suas características que se referem seguidamente, deverão ser objecto de tratamentos adicionais tendo em vista a respectiva valorização.

- **Biogás**

O biogás é uma mistura gasosa combustível, composta maioritariamente por metano e dióxido de carbono. O metano não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes no biogás conferem-lhe um ligeiro odor desagradável.

O ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), gás incolor e inflamável com um forte e desagradável odor, é particularmente importante onde e/ou quando o biogás vai ser utilizado para produção de calor e energia.

Devido às suas características corrosivas, devem ser tomados cuidados na concepção das instalações e na escolha dos materiais que irão entrar em contacto com o gás. A remoção de ácido sulfídrico do biogás deve, pois, ser efectuada, utilizando sais de ferro na lavagem/purificação do gás, ou adicionando-os ao digestor.

- **Digerido**

A qualidade do substrato que afluí ao digestor e a eficiência do processo terão um efeito significativo sobre as características do produto final.

A fase pós-digestão (compostagem) é fundamental para tornar o produto final mais atraente, para potenciais aplicações como sejam, por exemplo, a agricultura.

Nestas condições, o processo de digestão anaeróbia deverá ser completado por um processo de estabilização do digerido, em que as fases processo são muito semelhantes às descritas para a compostagem.

#### 4.3.4 Custos

Na Figura 50 apresentam-se as curvas de custo construídas por Tsilemou & Panagiotakopoulos (2006) para instalações de digestão anaeróbia. Na sua utilização deverão ser tidos em conta os aspectos de aplicabilidade relevados pelos autores (v. 4.2.5).

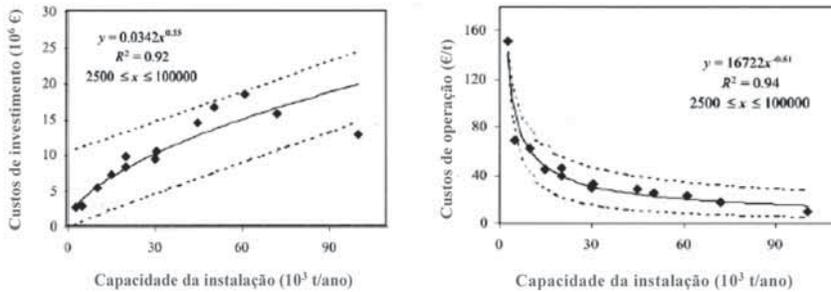


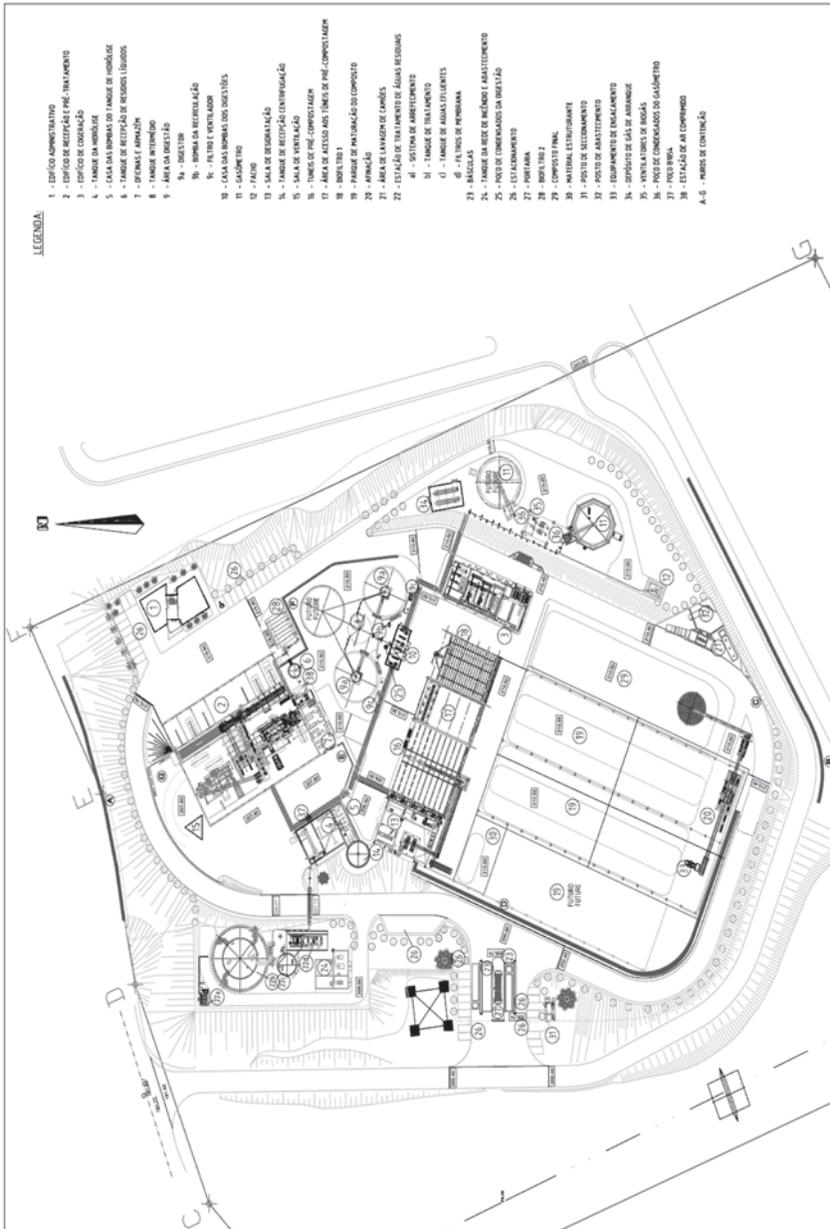
Figura 50 – Custos de investimento e operação de instalações de digestão anaeróbia (preços 2003)

#### 4.3.5 O caso da Estação de Tratamento e Valorização Orgânica da VALORSUL

##### Dados gerais

- processo de tratamento: digestão anaeróbia
- capacidade instalada / tipo resíduos: 40.000 t/ano de resíduos alimentares provenientes de recolha selectiva em grandes produtores, nomeadamente, restaurantes, cantinas, mercados; parte da instalação está desde já dimensionada para 60.000 t/ano, sendo necessária a instalação de alguns órgãos adicionais para passar a esta segunda fase (um digestor, um motor de co-geração e um gasómetro).
- área total: 3,5 ha
- data de arranque: primeira recepção de resíduos em Fevereiro de 2005; Recepção Provisória Condicionada em Fevereiro de 2008
- custo do investimento: 26,5 milhões de euros (2008)

• Planta geral da instalação



## Características técnicas da instalação

- **Recepção / Pré-tratamento**

Os resíduos orgânicos provenientes dos restaurantes, cantinas, hotéis, mercados são recolhidos separadamente e transportados para a Estação. A entrega de resíduos orgânicos na Estação é efectuada maioritariamente durante dois turnos: das 00h00 às 8h00, e das 16h00 às 24h00. As viaturas de recolha que chegam à Estação passam por um sistema de pesagem e registo automáticos, sendo posteriormente encaminhadas para a zona de recepção e descarga.

A área de recepção é confinada e dotada de portas de isolamento adequadas ao acesso de viaturas e mantida em depressão com exaustão de ar de forma a evitar a presença de odores, estando cada zona de descarga individualizada com extracção de ar independente. Nesta área verifica-se a existência de duas linhas de recepção de resíduos, nomeadamente, uma para resíduos «húmidos» e uma para resíduos «secos». A Estação está também equipada para receber resíduos líquidos (caso dos óleos alimentares), os quais são encaminhados directamente para os digestores anaeróbios.

Os resíduos «húmidos» (mercados e cantinas, por exemplo) sofrem apenas um tratamento de diminuição do seu tamanho através de moinhos de martelos que os reduzem a uma granulometria de cerca de 15 mm. Os resíduos triturados são então recolhidos num tanque de equalização e bombados para o tanque de hidrólise.

Os resíduos «secos» (restaurantes e hotéis, por exemplo) passam através de um abridor de sacos, seguindo-se uma linha de triagem manual, onde se procede à remoção dos materiais de maiores dimensões e à separação dos materiais ferrosos. De seguida são enviados para um *pulper*, onde se processa a maceração dos resíduos, de forma a promover a dissolução e a redução da dimensão de sólidos, bem como a efectuar a separação de contaminantes. O *pulper* está equipado com um agitador especialmente dimensionado e de elevada potência que transfere a fracção orgânica dos resíduos em suspensão de acordo com o princípio de selecção nas zonas de turbulência tangencial, sendo possível efectuar a separação

da maior parte dos inertes pesados (vidro, pedras, metais) que sedimentam no fundo do tanque cónico. A suspensão orgânica entra de seguida, por gravidade num tambor de crivagem onde se procede à separação dos materiais grosseiros e materiais leves (plástico, madeira e papel) e dos inertes finos e pesados (areias, etc.), sendo posteriormente bombada para o tanque de hidrólise.

- **Hidrólise**

A suspensão orgânica dos resíduos macerados provenientes das linhas de recepção e pré-tratamento é bombada para o tanque de hidrólise, passando previamente por um classificador de areias que promove a sedimentação de areias. O tanque de hidrólise foi concebido para equalização hidráulica anterior à alimentação dos digestores, bem como para o processo de pré-acidificação, através da decomposição da fracção orgânica mais facilmente hidrolisável por populações de bactérias. O tempo de residência dos materiais nesta fase é de cerca de dois dias.

- **Digestão**

Os dois reactores de digestão anaeróbia são linhas distintas, operadas e controladas de forma independente, tendo sido concebidos para o tratamento de fluidos ricos em sólidos orgânicos e para uma degradação de sólidos voláteis superior a 50%. O tempo de retenção nos digestores é, em média, de 21 dias apresentando um volume útil de 3.500 m<sup>3</sup> cada.

Para a segunda fase, com o aumento da capacidade da instalação para 60.000 ton/ano, está prevista a instalação de um terceiro digestor.

O funcionamento dos reactores baseia-se no princípio da recirculação de gás através de um tubo central, em que o fluxo gerado no interior do tubo induz uma forte circulação vertical no reactor (reactor de *loop* interno). Combinando a circulação no tubo central com a injeccção de pequenas quantidades de ar promove-se a supressão bioquímica de formação de sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S), reduzindo os níveis deste parâmetro no biogás para que este possa ser admitido aos motogeradores.

O processo de digestão é operado numa gama de temperaturas termófila – 51°C – o que é vantajoso para a utilização do substrato, já que as gorduras e a celulose estão mais disponíveis para serem metabolizadas pelas bactérias a estas temperaturas. Para compensar as perdas de calor e promover o aquecimento da suspensão, foi instalado um circuito externo de aquecimento, o qual mantém a temperatura do processo em torno dos 51°C. O calor é fornecido pelo arrefecimento da água de refrigeração dos motores de co-geração.

No topo dos reactores existem dispositivos de segurança para impedir a ocorrência de pressões elevadas ou de vácuo. O processo fermentativo global é monitorizado *on line* relativamente aos seguintes parâmetros: fluxos de alimentação e descarga, níveis, pH, temperatura, teores de sulfureto de hidrogénio (H<sub>2</sub>S) e metano (CH<sub>4</sub>) no biogás.

A lama resultante da digestão é descarregada, por gravidade, num tanque intermédio com agitação, de modo a promover a sua homogeneização, sendo posteriormente enviada para a desidratação.

- **Desidratação**

A lama resultante da digestão é desidratada através de duas centrífugas em paralelo. O nível de separação e a pureza do centrifugado são controlados pela eficiência do equipamento e pela alimentação controlada de floculante. O produto da digestão desidratado é enviado para os túneis de compostagem.

O centrifugado é utilizado como água de processo sendo o excesso bombeado para a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR).

- **Biogás /produção de energia**

O biogás produzido nos digestores é conduzido a um sistema de arrefecimento e compressão, onde são removidos os condensados, sendo em seguida conduzido para um gasómetro, com capacidade para 2.150 m<sup>3</sup>. Para a segunda fase está reservado espaço para um segundo gasómetro, de igual capacidade. O gasómetro está equipado com sistemas de segurança e poço de recolha de condensados. Além da pressão interior, a altura de

enchimento é também monitorizada pelo sistema de controlo.

Em caso de necessidade, existe uma tocha que permite uma queima controlada do biogás. O tempo de combustão é de cerca de 0,3 segundos e a temperatura de 900°C.

O biogás extraído do gasómetro é fornecido a dois motogeradores, com uma potência de 836 kW por equipamento. O calor do processo necessário ao funcionamento da instalação é obtido através do sistema de arrefecimento do motor. O calor excedente fica disponível para operações de secagem e similares. Haverá sempre pelo menos um motor em funcionamento, de modo a gerar o calor necessário ao processo. A energia eléctrica produzida é suficiente para satisfazer as necessidades internas da Estação e providenciar um excedente para exportação para a rede eléctrica.

- **Compostagem**

Na compostagem é utilizado material estruturante (estilha, resíduos de jardim, aparas de madeira) numa percentagem de cerca de 15% das lamas desidratadas. A fase de pré-compostagem é realizada em 5 túneis fechados e tem uma duração entre 9 e 14 dias. O processo é controlado pela medição da temperatura e pelo teor de oxigénio. Cada túnel tem um ventilador que insufla o ar de exaustão recolhido nas várias zonas da instalação, que é aproveitado como ar de processo.

Após a pré-compostagem, o material é colocado na área de maturação em pilhas com uma altura máxima de 3 m. As pilhas são revolvidas com máquina de revolvimento, pelo menos uma vez por semana e sujeitas a irrigação. O tempo de residência no parque de maturação é de cerca de 10 semanas, para um total de 12 semanas de compostagem. Após a compostagem o material é posteriormente submetido a uma afinação constituída por um sistema de crivagem e densimetria, sendo armazenado para posterior comercialização, podendo ser ensacado ou vendido a granel.

- **Pré-tratamento de águas residuais**

As águas residuais produzidas na instalação são submetidas a tratamento que consiste num sistema de

refrigeração para arrefecimento do afluente seguindo-se um tratamento biológico por nitrificação/desnitrificação e bioreactor de membranas. As lamas produzidas em excesso são reencaminhadas para o processo, sendo adicionadas no *pulper*. O efluente pré-tratado poderá ser reutilizado como água de processo sendo o excedente enviado para colector municipal.

- **Exaustão e tratamento do ar**

- Ventilação dos compartimentos da recepção

A área do hall de recepção está dividida em 6 compartimentos, cada um com o seu próprio ventilador que extrai cerca de 3.500 m<sup>3</sup>/h de ar contaminado.

A renovação do ar no interior destes compartimentos é assegurada pelo fluxo de ar novo que entra directamente pelas portas, caso estas se encontrem abertas, ou em alternativa pelas grelhas dos respiradores tipo persiana existentes nas paredes. O ar recolhido dos compartimentos (num total de 21.000 m<sup>3</sup>/h) é encaminhado para as tremonhas de recepção. Nesta zona é assegurada uma taxa de renovação de ar de 9 renovações/hora.

- Sistema de ventilação da zona de resíduos húmidos

Ao longo da tremonha de recepção do material da linha de resíduos «húmidos» encontra-se instalado um sistema de ventilação com tubuladura de entrada de ar, sendo extraído um caudal de 20.000 m<sup>3</sup>/h o qual é enviado para um biofiltro constituído por 8 secções/contentores. Nesta zona é assegurada uma taxa de renovação de ar de 12 renovações/hora.

- Sistema de ventilação da zona de resíduos secos

Ao longo da área de recepção do material da linha de resíduos «secos» encontra-se instalado um sistema de ventilação com tubuladura de entrada de ar sendo recolhidos nesta área aproximadamente 13.900 m<sup>3</sup>/h. Nesta zona é assegurada uma taxa de renovação de ar de 12 renovações/hora.

Esta tubagem também recolhe o ar de exaustão da cabine de triagem, bem como o ar extraído nos restantes equipamentos da sala de pré-tratamento, nos trituradores, *pulper*, crivo, etc., sendo extraído um total de 17.500 m<sup>3</sup>/h,

que inclui também o caudal extraído na ETAR e no tanque de hidrólise. Na cabine de triagem é efectuada uma taxa de renovação de ar de 10 renovações/hora.

Os respiradores tipo persiana das paredes que fornecem ar fresco às áreas de recepção estão instalados nas paredes desde as fossas até à área de pré-tratamento.

– Sistema de ventilação da zona de desidratação e túneis de compostagem

Na área de desidratação, sendo uma zona sujeita a elevadas concentrações de amónia, é assegurada uma extracção de um caudal de 10.000 m<sup>3</sup>/hora e uma taxa de renovação de ar de 6 renovações/hora nos transportadores de material desidratado.

Do caudal de ar extraído proveniente da zona da recepção e da zona da desidratação, cerca de 27.500 m<sup>3</sup>/h, é introduzido nos túneis, para o arejamento forçado do processo, sendo posteriormente encaminhado a um lavador de ar antes de seguir para um segundo biofiltro.

- **Pessoal**

- 1 Director
- 1 Responsável Exploração
- 1 Responsável Manutenção
- 3 Chefe de Turno 9 Operadores de Central
- 8 Operadores de Máquinas e Veículos Especiais
- 12 Operadores Semi-especializados
- 1 Técnico de Equipamento Eléctrico
- 1 Técnico de Equipamento Mecânico
- 1 Técnico de Sistemas de Exploração (operador de sala de comando)

- **Balço médio / indicadores de funcionamento (2007)**

- composto produzido: 10 kg/t de Resíduos Orgânicos (RO)
- biogás: 140/145 m<sup>3</sup>/t de RO
- produção energia eléctrica: 286 kWh/t RO

- consumo de 50% da energia eléctrica produzida, exportação do restante
- refugos produzidos: cerca de 20% do recebido
- águas residuais rejeitadas: 1 m<sup>3</sup>/t RO
- **Aspectos relevantes**
  - qualidade dos resíduos: a presença de sacos de plástico nos RO recebidos é uma fonte de problemas. Deverá apostar-se num equipamento para abrir sacos e remoção dos mesmos no início do processo, sob pena de causar vários constrangimentos na instalação: entupimentos, flotação em tanques e digestores, teor de plásticos elevados no composto final.
  - quantidades recolhidas: a aposta na recolha em grandes produtores é essencial para atingir a capacidade da instalação.
  - custos de recolha elevados (60 €/t)

## 5. VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

### 5.1 Nota introdutória

A valorização energética, na cadeia de operações de gestão de resíduos, aparece hierarquicamente depois das valorizações multimaterial e orgânica.

A sua aplicação no processo de gestão de resíduos pode incidir sobre refugos de outros processos a montante, ou directamente sobre os resíduos indiferenciados, caso mais comum da designada incineração.

No entanto, a incineração para ser considerada como operação de valorização energética, deverá, nos termos da nova Directiva Quadro dos Resíduos, garantir uma eficiência energética (calculada de acordo com a fórmula indicada no Quadro 31):

- $\geq 0,60$  para instalações em funcionamento e licenciadas nos termos da legislação comunitária aplicável antes de 1 de Janeiro de 2009;
- $\geq 0,65$  para instalações licenciadas após 31 de Dezembro de 2008.

Quadro 31 – Cálculo da eficiência energética

$$\text{Eficiência energética} = (E_p - (E_f - E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f))$$

- *$E_p$  representa a energia anual produzida sob a forma de calor ou electricidade. É calculada multiplicando por 2,6 a energia sob a forma de electricidade e por 1,1 o calor produzido para uso comercial (GJ/ano)*
- *$E_f$  representa a entrada anual de energia no sistema a partir de combustíveis que contribuem para a produção de vapor (GJ/ano)*
- *$E_w$  representa a energia anual contida nos resíduos tratados calculada utilizando o valor calorífico líquido mais baixo dos resíduos (GJ/ano)*
- *$E_i$  representa a energia anual importada com exclusão de  $E_w$  e  $E_f$  (GJ/ano)*
- *0,97 é um factor que representa as perdas de energia nas cinzas de fundo e por radiação*

Caso a eficiência energética seja inferior aos valores indicados, a incineração será apenas considerada como uma operação de eliminação de resíduos, pese embora a possibilidade de recuperar energia térmica e eléctrica, com os consequentes proveitos resultantes da sua comercialização.

Embora a incineração em grelha seja a operação mais disseminada e comprovada como tecnologia, as condicionantes de natureza ambiental, sobretudo relacionadas com os limites de emissões que de forma contínua têm vindo a ser cada vez mais restritivos, têm conduzido ao surgimento de novas tecnologias que, também valorizando energeticamente os resíduos, conduzem a emissões em que as exigências de tratamento são menos onerosas que na incineração convencional.

Esses desenvolvimentos estão ainda associados à maior ou menor contribuição para os GEE e para a possibilidade de valorização associada à energia produzida e à substituição de combustíveis fósseis.

Nos capítulos seguintes caracterizam-se as tecnologias de valorização energética de resíduos urbanos, fazendo-se referência às principais condicionantes de cada uma.

## **5.2 Incineração em grelha**

### **5.2.1 Descrição do processo**

É um processo de tratamento que permite reduzir o peso e, de maneira mais acentuada, o volume dos resíduos através da transformação provocada pela sua combustão, constituindo, sob o ponto de vista de higiene, um dos modos mais satisfatórios de resolver o problema da eliminação dos resíduos.

Da transformação dos resíduos através deste processo resultam resíduos sólidos (cinzas e escórias), efluentes gasosos, e eventualmente efluentes líquidos, dependendo do processo de tratamento de gases de combustão.

Enquanto as cinzas e escórias, que representam entre 20 e 30% do peso inicial de resíduos, têm por destino normalmente um aterro, de resíduos perigosos as primeiras e de resíduos não perigosos as segundas, os efluentes gasosos ricos em partículas e ácidos deverão ser submetidos a tratamento antes de serem lançados na atmosfera.

Esses tratamentos visam garantir que os limites de emissão, hoje em dia grandemente restringidos em função da regulamentação existente, sejam cumpridos de forma a evitar a ocorrência de poluição, com os consequentes impactes a nível de saúde pública e ambiente.

Do ponto de vista operacional, as principais etapas do processo de incineração são as seguintes:

- pré-tratamento;
- combustão;
- recuperação de energia;
- tratamento das emissões gasosas;
- tratamento dos efluentes sólidos.

Na Figura 51 apresenta-se de forma esquemática uma instalação de incineração em grelha.

### **5.2.2 Pré-tratamento**

Esta etapa destina-se a remover os materiais inconvenientes ao processo.

Esta operação nas unidades de incineração em grelha é relativamente simplificada, isto é, os resíduos apenas são submetidos a uma homogeneização na fossa, visando obter um PCI relativamente constante, sendo portanto incinerados com as características que apresentam na descarga.

Apenas os resíduos volumosos, são removidos podendo ser triturados para serem introduzidos no sistema de alimentação da câmara de combustão, ou conduzidos a aterro.

### **5.2.3 Combustão**

A incineração em grelha como processo de tratamento dos resíduos depende essencialmente das características destes, sendo determinante o poder calorífico e a capacidade de auto-combustão. Efectivamente, por razões económicas a incineração de resíduos deve fazer-se sem recurso a combustíveis auxiliares.

Para se verificar esta condição é necessário:

- poder calorífico inferior (PCI) superior a cerca de 4.600 KJ/kg;
- matéria combustível superior a 25% em peso;

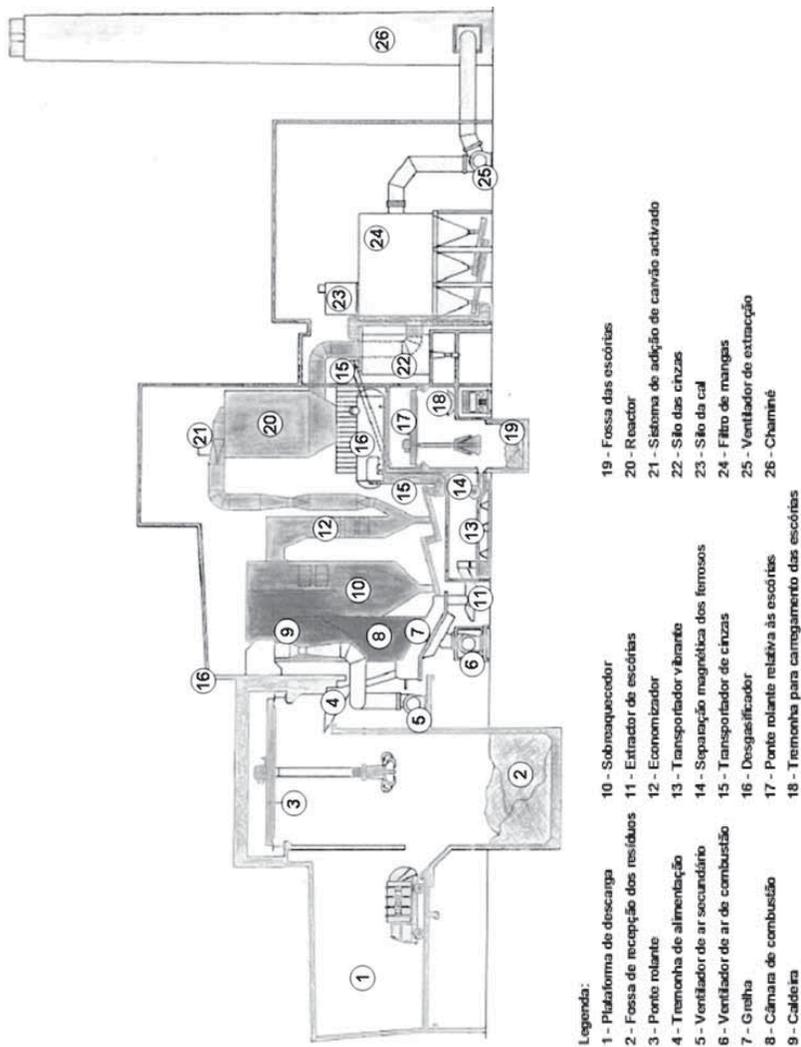


Figura 51 – Esquema de incineração em grelha

- humidade inferior a 50% em peso.

A capacidade de incineração depende da carga térmica da câmara de combustão, que é dimensionada para um diagrama de funcionamento resultante da quantidade de resíduos e do respectivo PCI. Tal significa que quanto maior é o PCI menor é a quantidade de resíduos a incinerar para se obter a máxima carga térmica resultante da combustão.

As câmaras de combustão mais utilizadas são os de grelha móvel, admitindo resíduos com PCI até cerca de 10.000 kJ/kg

Este tipo de câmaras possui, como o próprio nome indica, uma grelha móvel que mantém os resíduos em permanente movimento à medida que vão sendo incinerados, sendo as escórias depositadas numa fossa de arrefecimento, passando previamente por separadores magnéticos para retirada dos metais ferrosos.

A temperatura atingida na câmara de combustão varia de 850°C na base, até valores que podem atingir 1.000 a 1.100°C nas zonas mais altas em que se dá a combustão dos gases voláteis, garantindo-se assim os requisitos de temperatura para a incineração de RU.

Para evitar situações em que, devido ao PCI e humidade dos resíduos, a temperatura baixe dos 850°C, existem queimadores auxiliares alimentados por outro combustível, normalmente gás, que entram automaticamente em funcionamento para repor aquela temperatura. Estes queimadores são também utilizados nos arranques de funcionamento até se atingirem os 850°C, momento a partir do qual se pode iniciar a alimentação dos resíduos.

Os gases de combustão são arrefecidos através de vapor que circula na caldeira, antes de serem conduzidos ao sistema de tratamento para garantir a sua dispersão através da chaminé dentro dos limites fixados para a emissão das substâncias poluentes.

#### **5.2.4 Recuperação de energia**

O aproveitamento da energia gerada no processo de combustão pode revestir as seguintes formas:

- energia térmica;
- energia térmica e eléctrica;
- energia eléctrica.

No primeiro caso, o vapor produzido é utilizado ou para consumo industrial ou para aquecimento urbano.

É evidente que em países com condições climáticas amenas, o aquecimento urbano tem um interesse reduzido, devido ao curto período anual de utilização, pelo que este tipo de recuperação apenas se justifica para a vertente industrial.

Neste caso os consumidores dever-se-ão situar a uma distância viável de fornecimento, sendo desejável que este se faça em contínuo, o que pressupõe que o consumo se adeque à produção da unidade de incineração.

O segundo tipo é mais flexível que o anterior pois permite a produção de vapor e electricidade, podendo, no caso de não haver consumo para o vapor ou redução da procura deste, incrementar-se a geração de energia eléctrica.

Neste tipo de instalações o vapor é produzido a alta pressão, passando por uma turbina de contrapressão de forma a obter-se uma redução da pressão até ao nível de utilização pelos consumidores.

A rede de vapor faz-se em ciclo fechado, de modo a que na falta de consumo este possa retomar à instalação e ser condensado.

Quando a produção de energia é feita exclusivamente na forma de energia eléctrica, o vapor passa por uma turbina de condensação, podendo a sua refrigeração ser feita por ar ou num condensador refrigerado a água.

Qualquer que seja a forma de aproveitamento, a quantidade de energia lançada na rede depende do rendimento dos diferentes equipamentos de conversão e particularmente da capacidade térmica da câmara de combustão; esta por sua vez é condicionada pelo PCI dos resíduos e pelas características construtivas da câmara.

Como valor de referência pode indicar-se para a produção de 1 kWh de energia eléctrica se torna necessário incinerar 2,5 a 5 kg de resíduos sólidos aproximadamente, dependendo do valor do PCI.

## 5.2.5 Tratamento de emissões gasosas

### Composição dos efluentes gasosos

A composição dos efluentes gasosos originados numa unidade de incineração é bastante complexa, encontrando-se presentes um elevado número de substâncias.

A combustão perfeita e completa de qualquer resíduo orgânico produz basicamente três substâncias: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e cinzas, sendo todas elas inertes. Contudo, na prática os processos e reacções químicas nunca são completos pelo que, nos gases de combustão, aparecem vários compostos de alta nocividade quer para a saúde pública quer para o ambiente em geral.

No Quadro 32 apresenta-se uma listagem dos componentes que geralmente aparecem nos gases de combustão:

Quadro 32 – Componentes dos gases de incineração

Sólidos	Vapores (a)	Gases
Partículas (poeiras)	Micronutrientes orgânicos	CO
Cinza	– Dioxinas / furanos (PCDD, PCDF)	NO
Fuligem (carbono)	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	N <sub>2</sub> O
	Policlorobifenilos e trifenilos (PCB, PCT)	NO <sub>2</sub>
		SO <sub>2</sub>
Metais pesados (b):	Produtos de combustão incompleta (PCI)	SO <sub>3</sub>
Cd, Be, As, Cr, Ba, Ni, Se, Ag, Tl, Sb, Pb, Hg		HCl
	Metais pesados (c):	HF
	– Hg, Pb	Cl <sub>2</sub>
		HBr

a) Geralmente são líquidos à temperatura ambiente, mas encontram-se no estado de vapor nas condições dos gases de combustão.

b) Condensados ou ocluídos nas cinzas e geralmente na forma combinada ou não atómica.

c) Na forma atómica ou combinada.

Os valores-limite (valores médios diários) para as emissões atmosféricas impostos pela legislação portuguesa para instalações de resíduos urbanos são os seguintes:

- partículas totais ... 10 mg/m<sup>3</sup>
- substâncias orgânicas em forma gasosa e de vapor, expressas como carbono orgânico total... 10 mg/m<sup>3</sup>
- HCl ... 10 mg/m<sup>3</sup>
- HF ... 1 mg/m<sup>3</sup>
- SO<sub>2</sub>... 50 mg/m<sup>3</sup>
- monóxido de azoto (NO) e dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), expressos como dióxido de azoto:
  - instalações de incineração existentes com capacidade superior a 3 t/h ou instalações de incineração novas ... 200 mg/m<sup>3</sup>
  - instalações de incineração existentes com capacidade igual ou inferior a 3 t/h .... 400 g/m<sup>3</sup>
- CO (excluindo as fases de arranque e paragem) ... 50 mg/m<sup>3</sup> de gás de combustão
- dioxinas e furanos ... 0,1 ng/m<sup>3</sup> (valores médios medidos durante um período de amostragem mínimo de 6 horas e máximo de 8 horas)
- metais pesados (valores médios obtidos durante um período de amostragem mínimo de 30 minutos e máximo de 8 horas):

Quadro 33 – Limites de emissão

Substâncias	
Mercúrio e seus compostos, expressos em mercúrio (Hg)	0,05 mg/m <sup>3</sup>
Cádmio e seus compostos, expressos em cádmio (Cd)	total 0,05 mg/m <sup>3</sup>
Tálio e seus compostos, expressos em tálio (Cd)	
Antimónio e seus compostos, expressos em antimónio (Sb)	total 0,50 mg/m <sup>3</sup>
Arsénio e seus compostos, expressos em arsénio (As)	
Chumbo e seus compostos, expressos em chumbo (Pb)	
Crómio e seus compostos, expressos em crómio (Cr)	
Cobre e seus compostos, expressos em cobre (Cu)	
Manganês e seus compostos, expressos em manganês (Mn)	
Níquel e seus compostos, expressos em níquel (Ni)	
Vanádio e seus compostos, expressos em vanádio (V)	
Cobalto e seus compostos, expressos em cobalto (Co)	

## **Principais processos utilizados no tratamento dos efluentes gasosos**

Os efluentes gasosos têm de ser sujeitos a tratamento antes da sua emissão para a atmosfera. Há um número muito vasto de processos, pelo que neste ponto faz-se somente uma descrição sumária dos mais utilizados.

- **Partículas**

Há diversos processos associados à remoção de partículas. A escolha de um determinado processo depende, por um lado, da ordem de grandeza das partículas a remover e, por outro, da eficiência de remoção desejada.

Podem ser utilizados ciclones (*Dry Cyclonic separators*), precipitadores electrostáticos (via húmida ou seca), despoeiradores de gases de alto rendimento, do tipo filtro de mangas, etc.

Os ciclones são geralmente utilizados como pré-tratamento dos gases dado removerem somente partículas com dimensão superior a 15  $\mu\text{m}$ .

Os precipitadores electrostáticos apresentam elevados níveis de eficiência na remoção de partículas de dimensões superiores e inferiores a 2  $\mu\text{m}$ . A via húmida é mais eficiente que a seca apresentando contudo a desvantagem de produzir efluentes líquidos que requerem tratamento posterior.

Este processo apresenta ainda como vantagens o poder operar com gases detendo elevadas temperaturas e humidade e, para além da remoção de partículas poder proceder ainda à separação de aerossóis.

Os despoeiradores tipo filtro de mangas apresentam também, à semelhança dos anteriores, elevados níveis de eficiência na remoção do mesmo tipo de partículas. Podem ser divididos em filtro de saco com fluxo de ar invertido e filtro de saco com jacto pulsado, consoante o método de limpeza adoptado. Neste processo deve ser dada uma atenção especial à temperatura e grau de humidade dos gases a tratar.

De salientar que, quando o sistema de remoção de gases ácidos, que adiante se desenvolve, se efectua por via húmida, o processo de remoção de partículas antecede aquele e, contrariamente, quando o método adoptado é do tipo seco ou semi-seco, a remoção de partículas é efectuada posteriormente.

- **Gases ácidos**

Há três alternativas básicas para a remoção dos gases ácidos, SO<sub>2</sub>, HCl e HF:

Via húmida – Os gases são removidos através da utilização de soluções aquosas de agentes alcalinos (ex: solução de hidróxido de sódio) em depuradores que utilizam o efeito de Venturi. É o processo que tem maior eficiência no tratamento dos gases ácidos, apresentando no entanto a desvantagem de produzir efluentes líquidos que têm de ser sujeitos a tratamento.

Via semi-seca – Este método consiste em pulverizar uma solução aquosa de hidróxido de cálcio (leite de cal) na corrente dos gases. A estes reactores de neutralização estão sempre associados dispositivos de atomização do reagente de neutralização e de promotores de efeitos de turbilhamento: a turbulência dos gases de combustão e a pulverização da solução aquosa de hidróxido de cálcio promovem um estreito contacto gás-sólido, aumentando a eficiência do processo de remoção.

Via seca – Este método requer pouco equipamento adicional e não produz efluentes líquidos. Apresenta no entanto baixos rendimentos e um alto consumo de reagentes (pedra calcária); o reagente pode ser misturado com os resíduos antes da combustão ou introduzido separadamente na câmara de combustão.

- **Dioxinas e furanos**

Uma das formas de prevenir a formação de dioxinas é garantir que o processo de combustão decorra o mais eficientemente possível. Assim, na directiva 89/369/CEE – era já referido que «qualquer nova instalação de incineração de resíduos urbanos deve ser concebida, equipada e explorada de modo a que os gases provocados pela combustão dos resíduos atinjam, após a última injeção de ar de combustão, de uma forma controlada e homogénea, e mesmo nas condições mais desfavoráveis, uma temperatura de pelo menos 850°C durante um período não inferior a dois segundos, em presença de pelo menos 6% de oxigénio»).

Tal imposição é reafirmada no Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril, relativo à incineração de resíduos. Assim, o n.º 1 do artigo 19.º exige que seja obtida uma combustão completa dos resíduos. Para comprovação, «as escórias e cinzas provenientes da incineração devem apresentar um teor de carbono orgânico total inferior a 3%. Para além disso, a temperatura dos gases deve atingir um mínimo de 850°C durante, pelo menos, 2 segundos. Esta

temperatura deve ser mantida mesmo nas condições mais desfavoráveis, pelo que todas as instalações devem ser equipadas com queimadores auxiliares, a fim de permitir a manutenção dessa temperatura enquanto a câmara contiver resíduos».

Igualmente se prevê que seja automaticamente impedida a entrada de resíduos no processo de combustão, caso não seja atingida a temperatura mínima no arranque ou na operação contínua e no caso de as emissões excederem os valores limite de emissão. Isto garante que os resíduos apenas sejam incinerados em condições controladas.

Para além deste controlo são ainda utilizados métodos adicionais de tratamento: um dos métodos consiste na utilização de carvão activado; neste método não há destruição das dioxinas mas sim uma retenção das mesmas, pelo que será sempre necessário efectuar um tratamento posterior aos efluentes gerados durante o processo. Outro método consiste na utilização de processos de redução catalítica; este método utiliza um catalítico, óxido metálico, provocando a destruição das dioxinas pela sua reacção com o oxigénio.

- **Emissões de NO<sub>x</sub>**

A produção de óxidos de azoto pode ser minimizada através de uma série de medidas de controlo do processo de combustão. Para além destes podem existir controlos adicionais como a redução catalítica.

Em reactores de leito fluidizado, a produção de óxidos de azoto pode ser minimizada através do controlo da quantidade de ar fornecida ao processo.

Em reactores de grelha móvel os métodos mais usuais baseiam-se na utilização de processos de redução selectiva não catalítica, por meio de injeção de amónia na câmara de combustão.

Na Figura 52 é apresentado o esquema de tratamento de gases de combustão pelo processo semi-seco.

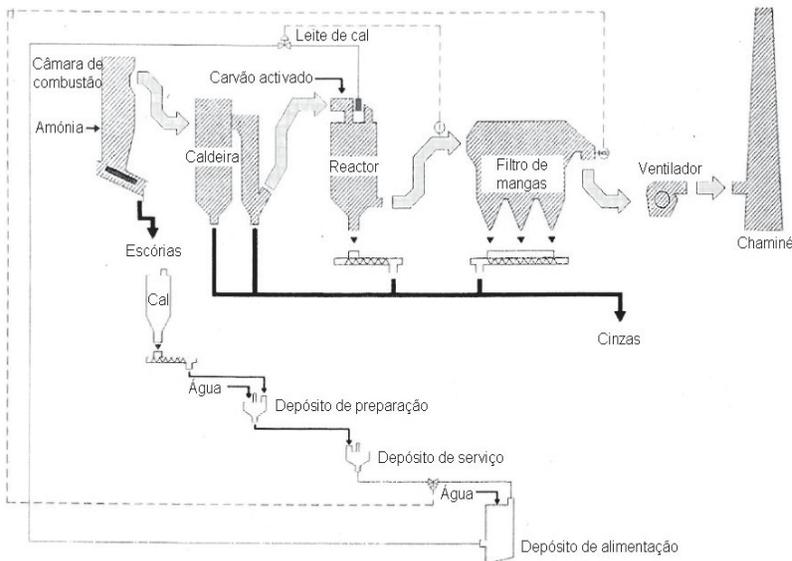


Figura 52 – Esquema de tratamento de gases por processo semi-seco

### 5.2.6 Tratamento dos resíduos do processo

As cinzas volantes e os resíduos provenientes do tratamento dos gases de combustão contêm concentrações elevadas de metais pesados.

Os metais pesados, dada a sua natureza química, não são destruídos pelo calor. Deixarão assim a câmara de combustão ou as emissões gasosas incorporando as partículas retidas nos filtros e os resíduos resultantes do processo de depuração dos gases de combustão.

Dado que o processo de incineração implica uma redução significativa do volume inicial dos RU, os metais pesados aparecem em concentrações elevadas nos produtos finais deste processo, em especial, nas cinzas. Dependendo da concentração destes poluentes estes produtos poderão ter de sofrer um tratamento como resíduos perigosos.

As escórias apresentam, em geral, um baixo teor de matéria orgânica e uma concentração em metais pesados bastante inferior à dos resíduos de tratamento dos gases de combustão. Por este motivo o destino final destes materiais é geralmente diferente; os resíduos do tratamento dos gases de combustão são conduzidos a

um aterro de resíduos perigosos ou após sofrerem um processo de inertização são depositadas num aterro, normalmente infra-estruturado como aterro de resíduos perigosos. As escórias, após tratamento, podem ser utilizadas como matéria-prima na construção civil, pavimentação ou cobertura de aterros de resíduos urbanos.

### 5.2.7 Tratamento dos efluentes líquidos

O tratamento de efluentes líquidos provenientes de uma instalação de incineração tem especial significado para os efluentes provenientes da depuração dos gases de combustão, quando o processo é húmido.

No Decreto-Lei n.º 85/2005 de 28 de Abril, relativo à incineração de resíduos, nos artigos 33.º e 34.º estabelecem-se os requisitos para o controlo das descargas para a água, referindo nomeadamente que todas as descargas devem estar sujeitas a uma licença. Essa licença tem como objectivo garantir que a legislação, nacional e comunitária, seja respeitada e que os valores-limite de emissão especificados (Quadro 34) sejam cumpridos.

Quadro 34 – Valores-limite de emissão para descarga de efluentes provenientes da depuração de gases

Substâncias	VLE
Total de sólidos em suspensão	30 mg/L
Mercúrio e seus compostos, expressos em mercúrio (Hg)	0,03 mg/L
Cádmio e seus compostos, expressos em cádmio (Cd)	0,05 mg/L
Tálio e seus compostos, expressos em tálio (Tl)	
Antimónio e seus compostos, expressos em antimónio (Sb)	5 mg/L
Arsénio e seus compostos, expressos em arsénio (As)	
Chumbo e seus compostos, expressos em chumbo (Pb)	
Crómio e seus compostos, expressos em crómio (Cr)	
Cobre e seus compostos, expressos em cobre (Cu)	
Manganês e seus compostos, expressos em manganês (Mn)	
Níquel e seus compostos, expressos em níquel (Ni)	
Vanádio e seus compostos, expressos em vanádio (V)	
Dioxinas e furanos, definidos como a soma das dioxinas e furanos individuais	0,3 ng/L

### 5.2.8 Controlo do processo

Para que o processo de incineração decorra nas melhores condições possíveis, é indispensável o controlo de alguns parâmetros:

**Tempo** – Como a incineração é um processo que envolve processos e reacções químicas complexas, o tempo é um factor chave para que estas se processem na sua totalidade.

O tempo necessário para que as diferentes reacções em jogo se realizem na sua plenitude é variável, dependendo de vários factores como a temperatura, turbulência e a presença de oxigénio, que a seguir se descrevem.

**Temperatura** – A temperatura à qual ocorre a combustão dos resíduos tem diversos efeitos, nomeadamente, no tempo requerido para a combustão (maiores temperaturas implicam uma maior velocidade das reacções químicas) e na formação de substâncias como as dioxinas, furanos e óxidos de azoto, conforme já se fez referência.

**Turbulência** – A turbulência permite uma homogeneização da massa dos resíduos evitando que se formem quer zonas frias quer zonas pobres em oxigénio que possam influenciar a velocidade das reacções de oxidação.

**Oxigénio** – Se a alimentação em oxigénio for superior às necessidades estequiométricas das reacções em jogo, estas serão efectuadas de forma completa e a uma velocidade mais elevada.

Outros parâmetros devem também ser tomados em consideração, de forma a prevenir eventuais problemas de corrosão provocados pelas cinzas e produtos gasosos da combustão.

Assim, será necessário:

- evitar condensações ácidas sobre as paredes, devidas essencialmente à presença do  $\text{SO}_3$  e  $\text{HCl}$ ; para o efeito um especial cuidado deve existir na selecção da temperatura de arrefecimento dos gases;
- manter a temperatura de combustão, na medida do possível, abaixo do ponto de fusão das cinzas para evitar incrustações sobre as grelhas;
- ter particular atenção na escolha dos refractários, a fim de evitar que eles entrem em reacção com elementos do meio em combustão.

## 5.2.9 Custos

Na Figura 53 apresentam-se as curvas de custo construídas por Tsilemou & Panagiotakkopoulos (2006) para instalações de incineração.

Na sua utilização deverão ser tidos em conta os aspectos de aplicabilidade relevados pelos autores (v. ponto 4.2.5).

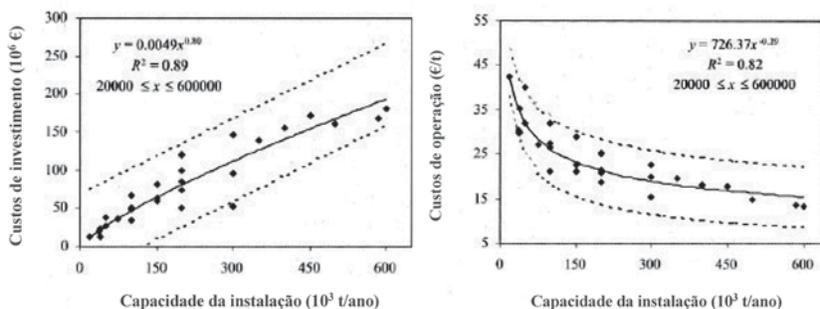


Figura 53 – Custos de investimento e operação de instalações de incineração (preços 2003)

## 5.3 Leitos fluidizados

### 5.3.1 Descrição do processo

O sistema de leito fluidizado é um processo de incineração aplicável aos resíduos urbanos, requerendo no entanto, ao contrário da incineração em grelha, uma homogeneização dos resíduos, e também uma granulometria regular e relativamente reduzida.

Tais requisitos implicam que, a montante da incineração, exista um pré-tratamento relativamente complexo e com custos elevados de modo a obter uma massa homogênea e a rejeitar os materiais inertes e inconvenientes para o processo.

Em função das características referidas, este processo começou a emergir para os RU a partir do desenvolvimento dos TMB, particularmente associado à produção de CDR, na medida em que é possível este constituir um combustível com relativa homogeneidade, em função dos equipamentos mecânicos de separação e densificação utilizados.

Por outro lado o processo admite combustíveis com PCI elevado, acima dos 10.000 kJ/kg (caso da generalidade dos diferentes tipos

de CDR), situação que o favorece relativamente à incineração em grelha, que apresenta esta limitação.

O incinerador de leito fluidizado é normalmente constituído por uma câmara de combustão vertical, na base da qual, numa grelha ou plataforma perfurada, existe uma camada de material inerte, geralmente areia, que é fluidizada com ar. Este ar, pré-tratado e aquecido, é introduzido através da base perfurada formando com a areia um leito fluidizado.

A alimentação dos resíduos é efectuada de modo contínuo, através de alimentadores rotativos em estrela, parafusos sem-fim, em partículas de pequenas dimensões, da parte superior da câmara para a base, garantindo-se deste modo a sua secagem e rápida ignição.

Sobre o leito fluidizado efectua-se a combustão e volatilização depositando-se as cinzas e escórias na base. Quando estas se encontram em excesso são retiradas, sofrendo o mesmo tipo de eliminação das resultantes do processo de incineração em grelha.

As temperaturas na câmara de combustão atingem valores entre 850°C e 950°C, de acordo com as imposições legislativas relativas à incineração de RU.

Os gases de combustão são objecto de tratamento à semelhança do que acontece no processo de incineração em grelha, embora beneficiando da maior homogeneidade dos resíduos incinerados, que permitem um melhor controlo das emissões.

O arrefecimento dos gases é efectuado com vapor aproveitando-se a carga térmica gerada para a produção de energia térmica e eléctrica.

Dado o maior PCI dos resíduos incinerados por este processo, é possível obter potências térmicas elevadas com menores quantidades de resíduos do que as necessárias para as mesmas potências com a incineração de resíduos indiferenciados em grelha. Tal facto permite que a viabilidade técnica e económica destas instalações seja atingida para capacidades menores dos que as verificadas na incineração convencional.

### **5.3.2 Recuperação de energia**

O aproveitamento da energia gerada no processo de combustão pode revestir as seguintes formas:

- energia térmica;
- energia térmica e eléctrica;
- energia eléctrica,

tal como referido para a incineração em grelha.

### 5.3.3 Tratamento de emissões gasosas

O tratamento dos gases de combustão é efectuado com sistemas idênticos aos dos utilizados na incineração em grelha, sendo no entanto de menores dimensões face ao melhor controlo dos diferentes poluentes e níveis de emissão, resultantes da homogeneidade e pré-tratamento dos resíduos.

## 5.4 Pirólise / gaseificação

### 5.4.1 Descrição do processo

O processo de pirólise consiste na decomposição da matéria orgânica na ausência de um agente oxidante (oxigénio). Usa-se também este termo para o processo de gaseificação, em que a combustão dos resíduos é feita num ambiente deficitário em oxigénio.

Em termos químicos, a destruição térmica da matéria orgânica leva à produção de:

- uma mistura gasosa essencialmente constituída por hidrogénio, metano, monóxido de carbono e dióxido de carbono, e em menor percentagem butano, propano, propeno e etano; a composição típica desta mistura, num processo conduzido na ausência total de oxigénio, é a seguinte:

H<sub>2</sub>..... 54%

CH<sub>4</sub>.....10%

CO.....10%

CO<sub>2</sub>..... 23%

C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>..... 2%

N<sub>2</sub>..... 1%;

- um «alcatrão» ou «óleo», líquido à temperatura ambiente, constituído por compostos orgânicos parcialmente oxidados, como o ácido acético, metanol e acetona; este «óleo» é combustível, devendo contudo sofrer um tratamento prévio à

sua utilização, para remoção de elementos corrosivos, nomeadamente compostos à base de cloro e enxofre;

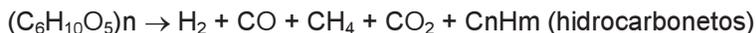
- um «carvão», geralmente designado por «coque», constituído por carbono quase puro e inertes (vidro, metal, pedras, etc.) que entram no processo; para a utilização deste carvão como combustível é necessário efectuar primeiro uma separação das duas fracções existentes.

Estes três produtos podem ser usados como combustível, apresentando os seguintes valores típicos de poder calorífico:

- gás: 3,7 – 22,4 MJ/m<sup>3</sup>
- líquido: 23,3 – 25,6 MJ/kg
- sólido: 14 – 21 MJ/kg

A proporção relativa dos três produtos depende dos métodos e processos de pirólise adoptados e, conseqüentemente, dos parâmetros e condições que comandam a reacção, os quais são por sua vez definidos em função dos objectivos que se pretendem atingir com o processo.

Em termos químicos, o processo pode ser ilustrado pela decomposição térmica da celulose:



O tipo de hidrocarbonetos formados depende do tempo de reacção, temperatura, pressão e presença de catalisadores.

A pirólise aplicada à valorização dos resíduos urbanos pode incluir alguns dos seguintes processos:

- pré-tratamento

Esta fase pode envolver a secagem, triagem de materiais inertes e trituração.

- pirólise

Processa-se em três etapas, determinadas pela taxa de aquecimento:

- decomposição inicial dos sólidos, em que as moléculas de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CO são consumidas;
- decomposição mais extensa dos sólidos, de que resulta a formação de líquidos orgânicos como alcatrões e óleos;

- decomposição final dos sólidos e líquidos, em que produtos mais simples como  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_6$  são consumidos, restando apenas o carvão.
  - gaseificação
  - combustão do carvão como fonte de calor para a pirólise e gaseificação.

#### 5.4.2 Pirólise de resíduos urbanos

Na pirólise de resíduos urbanos, a produção de líquidos (incluindo água) é aproximadamente 50–60% dos resíduos secos, diminuindo com o aumento de temperatura do processo.

A produção de gás varia entre 15 a 35% dos resíduos secos, e diminui com o aumento de temperatura do processo entre 480 e 925°C. Geralmente considera-se que a pirólise de 1 kg de RU combustível produz 0,125 a 0,185 m<sup>3</sup> de gases com um poder calorífico de 12,5 MJ/m<sup>3</sup>.

O carvão sólido formado no processo a uma temperatura por exemplo de 925°C, é comparado a betuminoso e antracite, variando a produção entre 17 a 32% dos resíduos secos.

Os sistemas de pirólise podem ser projectados para tratar resíduos urbanos em bruto ou sujeitos a tratamento prévio.

O tratamento prévio pode envolver uma operação de triagem do vidro e dos metais para valorização e uma operação de trituração de modo a permitir a alimentação do reactor com uma matéria-prima mais homogénea.

O elevado conteúdo de humidade dos RU em bruto pode conduzir à produção de um grande volume de água residual condensada a partir dos gases produzidos, pelo que pode também ser necessária uma operação de secagem prévia, para que o conteúdo de humidade dos RU em bruto seja reduzido para aproximadamente 10%.

De salientar que uma instalação de pirólise, de acordo com o Decreto-Lei n.º 85/2008 de 28 de Abril, é considerada como uma instalação de incineração, pelo que todas as orientações ali descritas e que são objecto de pormenorização no capítulo da incineração também aqui se aplicam. Assim, no n.º 1 do artigo 3º é referido como instalação de incineração «qualquer unidade e equipamento técnico fixo ou móvel dedicado ao tratamento térmico

de resíduos, com ou sem recuperação da energia térmica gerada pela combustão».

Esta definição inclui a incineração por oxidação de resíduos, bem como a pirólise, a gaseificação ou outros processos de tratamento térmico, como por exemplo, processos de plasma, na medida em que os produtos de tratamento sejam subsequentemente incinerados.

## 6. DEPOSIÇÃO EM ATERRO

### 6.1 Nota introdutória

Na linha da estratégia actual da gestão de resíduos urbanos, que o Decreto-Lei n.º 178/2006 e o PERSU II consagram, a deposição em aterro deve ser encarada como uma operação de fim de linha, à qual se deve recorrer apenas quando for técnica ou economicamente inviável a prevenção, reutilização, reciclagem ou outras formas de valorização dos resíduos.

Neste sentido, o quadro existente em matéria de resíduos preconiza, a par do incremento da reciclagem multimaterial, o desvio de RUB de aterro por via das unidades de digestão anaeróbia, compostagem, TMB e incineração com recuperação de energia existentes e previstas no PERSU II, com vista ao cumprimento das metas estabelecidas a nível nacional.

No entanto, os aterros continuarão a ser imprescindíveis como destino final dos resíduos urbanos, nas situações de paragens, programadas ou acidentais, das infra-estruturas a montante, bem como para os refugos não valorizáveis provenientes dos diversos processos de tratamento.

Assim, face a esta realidade, importa assegurar que a deposição de resíduos em aterro seja controlada e gerida de forma adequada, de acordo com regras que garantam a salvaguarda do meio ambiente e das populações.

O Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, é o diploma que no quadro legislativo actual consagra as normas aplicáveis em matéria de instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros.

Este diploma estabelece, para além das características técnicas específicas para cada uma das classes de aterro definidas, isto é:

- aterros para resíduos inertes;
- aterros para resíduos não perigosos, em que se enquadram os resíduos urbanos;
- aterros para resíduos perigosos;

estabelece ainda a tipologia de procedimentos e critérios de admissão de resíduos nestas instalações.

A Decisão 2003/33/CE, de 19 de Dezembro de 2002, veio entretanto estabelecer os critérios e processos de admissão de resíduos em aterro, a vigorar a partir de Julho de 2005, sobrepondo-se neste âmbito às matérias constantes do Decreto-Lei n.º 152/2002, entretanto revogado pelo Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto.

## 6.2 Princípios gerais

A deposição de resíduos em aterro é uma operação de eliminação que consiste basicamente na sua colocação no terreno, através de técnicas que evitem perigos para a saúde pública, degradação da paisagem, poluição das águas subterrâneas e outros riscos ambientais.

Normalmente os resíduos são depositados em camadas de cerca de 2 m de altura, que se sobrepõem, através de meios mecânicos de movimentação, sendo efectuada diariamente a sua cobertura com material inerte. Evita-se assim a ocorrência de cheiros, o espalhamento de materiais ligeiros pelo vento e a proliferação de roedores e insectos.

Num aterro executado com compactação dos resíduos, os processos biológicos de degradação da matéria orgânica existente são predominantemente anaeróbios, em virtude de não se proporcionar a circulação de ar, do que resulta a produção de biogás, implicando sistemas de drenagem e captação que poderão eventualmente conduzir à hipótese do seu aproveitamento energético.

A compactação num aterro pode obter-se fundamentalmente através de:

- máquinas de compactação que, por passagens sucessivas sobre os resíduos e por efeito de compressão, reduzem o seu volume, aumentando a densidade para valores da ordem de 0,6 a 0,9 t/m<sup>3</sup>;
- prensagem dos resíduos em fardos, elevando a sua densidade para valores da ordem de 1,0 a 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Este último processo pressupõe uma operação prévia, envolvendo unidades e equipamentos a montante da deposição em aterro, que normalmente conduzem a custos mais elevados e a uma menor flexibilidade face a flutuações da quantidade de resíduos.

Na construção e exploração de um aterro os aspectos relacionados com as potenciais formas de poluição deverão ser devidamente acautelados, de maneira a evitar ou minimizar os riscos deste processo.

Os principais problemas que se colocam neste domínio respeitam a emissões líquidas (lixiviados) e gasosas (biogás).

As condições de impermeabilização requeridas para evitar a contaminação de aquíferos através de condições naturais do próprio terreno ou de revestimento da base com solos de baixa permeabilidade ou tela plástica favorecem o desenvolvimento e acumulação de efluentes líquidos altamente contaminados, os lixiviados.

A construção do aterro deve prever sistemas de drenagem e concentração destes efluentes, de modo a minimizar a sua quantidade. Por isso é importante a separação dos lixiviados de todas as outras águas, superficiais e pluviais, mediante sistemas de drenagem distintos.

Os aspectos relacionados com o tratamento de lixiviados, utilizando técnicas de recirculação através da massa de resíduos ou equipamentos específicos no próprio local ou em instalações existentes para o tratamento de outras águas residuais, são igualmente importantes e um factor que tem repercussões sobre o custo do processo.

No que respeita aos gases do aterro, o esquema de drenagem destina-se fundamentalmente a evitar migrações incontroladas, em função da perigosidade que apresentam, risco de explosão e cheiros, e a sua condução a um sistema de queima ou de aproveitamento energético, se viável, de forma a reduzir o impacto do metano, seu componente principal, nos GEE.

Os processos biológicos decorrem durante anos após o encerramento, provocando a continuação de ocorrência de lixiviados e gases, e uma estabilização lenta do aterro, o que condiciona a utilização futura do local.

### 6.3 Selecção de local para aterro

A escolha do terreno para implantação de um aterro de resíduos revela-se regra geral bastante complexa, na medida em que é difícil encontrar um local que reúna todos os requisitos para a construção e operação deste tipo de infra-estruturas.

A avaliação de um local deve basear-se na análise dos aspectos sócio-económicos e ambientais presentes, e na importância relativa que lhes é atribuída.

Nos primeiros incluem-se as acessibilidades, as distâncias às fontes produtoras de resíduos, a proximidade de zonas habitadas, o impacto do tráfego e do ruído, a segurança e a saúde públicas, os valores económicos, históricos e culturais, e os valores paisagísticos.

Nos segundos incluem-se os aspectos naturais, como as condições geotécnicas e hidrogeológicas, a geomorfologia, clima e meteorologia, hidrologia, características agrícolas e florestais, e a sensibilidade dos ecossistemas, e, por outro lado, também o uso e ocupação do solo.

A escolha do local deve também ter em atenção as diferentes fases de vida do aterro:

- a fase de construção e exploração, correspondente a um período temporário, mas com grandes alterações no próprio local e envolvente;
- a fase de manutenção, após encerramento, a qual condiciona o uso futuro do terreno.

Deve igualmente contar com a participação dos diferentes intervenientes em causa (autoridades competentes, câmaras municipais e juntas de freguesia, projectistas, população interessada pela obra).

No sentido de obter informação integrada dos possíveis efeitos directos e indirectos destas infra-estruturas sobre o ambiente natural e social, prever a execução de medidas destinadas a evitar, minimizar e compensar tais impactes, de modo a auxiliar a adopção de decisões ambientalmente sustentáveis, e garantir a participação pública, estão sujeitos a avaliação de impacte ambiental de acordo com o previsto no Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio de 2000 e alterações posteriores (com a redacção republicada no Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro):

- os aterros de resíduos perigosos;
- os aterros de resíduos não perigosos que recebam mais de 150.000 t/ano, ou que, ainda que não abrangidos por este limiar, se localizem em áreas sensíveis ou sejam considerados por decisão da entidade licenciadora ou competente para a autorização do projecto, susceptíveis de provocar impacte significativo no ambiente em função da sua localização, dimensão ou natureza;
- qualquer alteração, modificação ou ampliação das instalações anteriormente mencionadas que possa ter impactes negativos importantes no ambiente.

Em suma, o processo de selecção de um local para implantação de um aterro deve contemplar a existência de condições naturais favoráveis do ponto de vista de sustentabilidade ambiental e que permitam minimizar os custos de construção, exploração e de manutenção, bem como salvaguardar os recursos e valores económicos, sociais e culturais existentes na região.

## **6.4 Concepção do aterro**

### **6.4.1 Aspectos gerais**

A concepção de um aterro deve ser efectuada numa perspectiva integrada, de modo a que a sua construção, operação, manutenção e monitorização respeitem as condições técnicas e ambientais requeridas.

O diagrama da Figura 54 pretende ilustrar um conjunto de aspectos que devem ser considerados.

No estabelecimento do *layout* geral da instalação, há a considerar os seguintes elementos:

- zona de entrada e controlo
- áreas de deposição de resíduos
- zona para depósito de terras de cobertura
- zonas para os sistemas de tratamento de lixiviados e biogás
- edifícios de apoio
- zonas de estacionamento de viaturas ligeiras e pesadas.

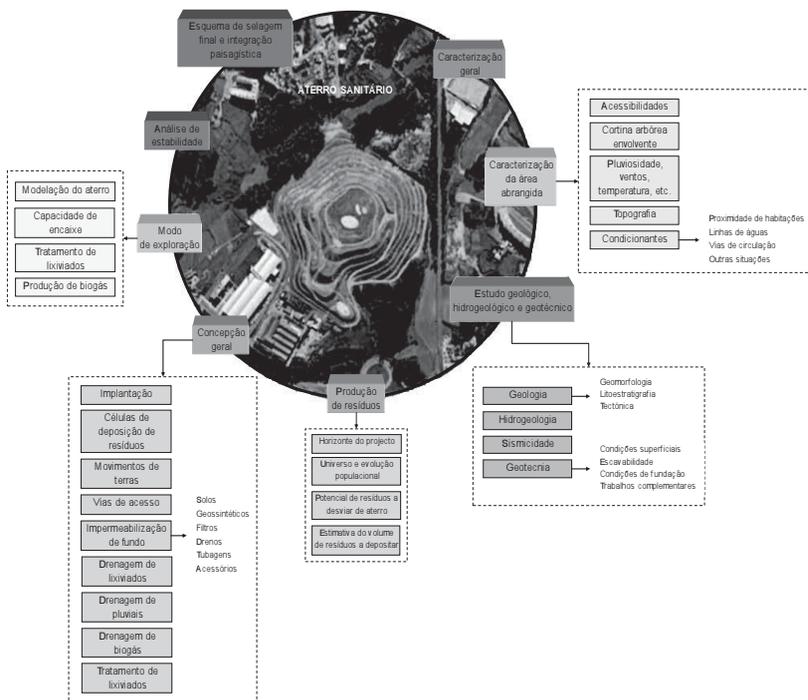


Figura 54 – Aspectos a considerar na concepção de um aterro

O dimensionamento das áreas de deposição e de tratamento acima mencionadas depende da estimativa de resíduos a receber em aterro e do método de exploração adoptado.

A área destinada à deposição de resíduos corresponde à zona mais sensível do aterro, devendo por isso ser projectada de forma cuidada e rigorosa, e tendo em conta designadamente as normas técnicas e ambientais estabelecidas no quadro legislativo nacional.

No Quadro 35 apresentam-se os requisitos mínimos a que devem obedecer os aterros, em função da correspondente categoria.

Quadro 35 – Requisitos mínimos a que devem obedecer as diferentes classes de aterros

Categoria do aterro	Resíduos inertes	Resíduos não perigosos	Resíduos perigosos
Sistema de protecção ambiental passiva: Barreira de segurança passiva	Sim	Sim	Sim
Sistema de protecção ambiental activa: Barreira de impermeabilização artificial		Sim	Sim
Sistema de drenagem de águas pluviais		Sim	Sim
Sistema de drenagem e recolha de lixiviados		Sim	Sim
Sistema de drenagem e tratamento de biogás		(*)	(*)
Sistema de encerramento Camada de drenagem de gases		(*)	(*)
Barreira de impermeabilização artificial			Sim
Camada mineral impermeável		Sim	Sim
Camada de drenagem > 0,5 m		Sim	Sim
Cobertura final com material terroso > 1m	Sim	Sim	Sim
Instalações e infra-estruturas de apoio: Vedação	Sim	Sim	Sim
Portão	Sim	Sim	Sim
Vias de circulação	Sim	Sim	Sim
Queimador de biogás		(*)	(*)

(\*) A definir em função do tipo de resíduos admitidos no aterro

(Decreto-Lei n.º 183/2009, Anexo I)

## 6.4.2 Fundação

O terreno de fundação deve possuir características mecânicas que permitam suportar as cargas transmitidas pelo aterro.

Os assentamentos totais ou diferenciais expectáveis devem ser mínimos, de modo a evitar a rotura ou comprometer o funcionamento do sistema de impermeabilização de fundo e dos restantes órgãos.

Para tal, é geralmente necessário proceder à escavação do terreno para eliminação das camadas superficiais de terra vegetal com fracas características mecânicas. O resultado dessa escavação deve também proporcionar uma superfície regular e homogénea que permita um contacto satisfatório com o sistema de impermeabilização de fundo. Quando tal não é possível, há que proceder à colocação de uma camada de regularização composta por solos compactados sobre a totalidade ou parte da superfície de fundação.

A caracterização dos terrenos de fundação deve ser efectuada na fase de projecto (ou de estudos preliminares), através da execução de campanhas de prospecção geotécnica.

Os trabalhos a desenvolver, cuja tipologia e número dependem das condições locais e da complexidade técnica da construção do aterro, devem permitir apurar as características geológicas, hidrogeológicas e sísmicas com influência na capacidade de carga da fundação, na estabilidade dos taludes e nos potenciais assentamentos.

### 6.4.3 Sistema de impermeabilização de fundo e taludes

A impermeabilização do fundo e dos taludes de um aterro envolve uma protecção ambiental passiva e uma protecção ambiental activa.

O sistema de protecção ambiental passiva deve garantir, durante a fase de exploração e até completa estabilização dos resíduos, a prevenção da poluição dos solos, das águas subterrâneas e de superfície provocada pelos resíduos e lixiviados. Para tal, deve ser constituído por uma formação geológica de baixa permeabilidade com espessura adequada, de acordo com os seguintes requisitos:

- a barreira geológica é determinada pelas condições geológicas e hidrogeológicas inferiores e adjacentes ao local de implantação do aterro;
- a base e os taludes do aterro devem consistir numa camada mineral que satisfaça as condições de permeabilidade e espessura constantes do Quadro 36;
- no caso da barreira geológica natural não apresentar as condições acima mencionadas, poderá ser complementada artificialmente e reforçada por outros meios; as barreiras artificialmente criadas não poderão ser de espessura inferior a 0,5 m.

Quadro 36 – Condições de permeabilidade e espessura a que deve obedecer o sistema de protecção ambiental passiva

Categoria do aterro	Resíduos inertes	Resíduos não perigosos	Resíduos perigosos
Coefficiente de permeabilidade (K, m/s)	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Espessura (m)	$\geq 1$ m	$\geq 1$ m	$\geq 5$ m

(Decreto-Lei n.º 183/2009, Anexo I)

O sistema de protecção ambiental activa, por sua vez, deve permitir:

- controlar a infiltração das águas de precipitação no aterro;
- evitar a infiltração de águas superficiais e/ou subterrâneas nos resíduos depositados;
- captar águas contaminadas e lixiviados, garantindo que a acumulação de lixiviados no fundo do aterro se mantém num nível mínimo;
- tratar as águas contaminadas e lixiviados captados do aterro segundo as normas exigidas para a sua descarga;
- captar, tratar e, se possível, valorizar o biogás produzido.

Para tal deve incluir:

- barreira de impermeabilização artificial (constituída por uma geomembrana ou dispositivo equivalente);
- drenagem de águas pluviais;
- drenagem e recolha de lixiviados;
- drenagem e tratamento de biogás.

A Figura 55 ilustra o sistema de impermeabilização de um aterro.

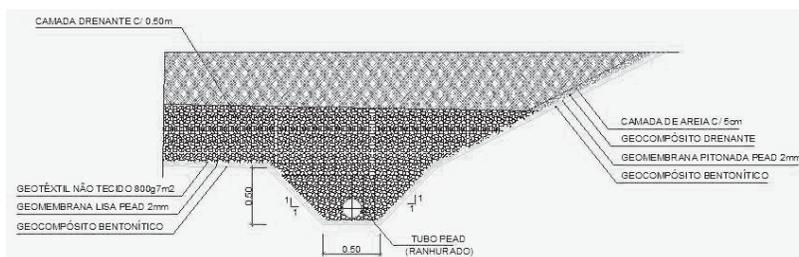


Figura 55 – Sistema de impermeabilização do fundo e dos taludes de um aterro

Os geossintéticos a utilizar devem ser dimensionados e caracterizados de acordo com especificações técnicas próprias e sujeitos a controlo de qualidade em obra (v. ponto 6.5).

Existem diversos tipos de geossintéticos, dos quais são de destacar os mais utilizados neste tipo de infra-estruturas:

- Geocompósito bentonítico

Utilizado como barreira passiva, é composto por uma camada de argila bentonítica envolvida em geotêxteis.

- Geomembrana

Utilizada como barreira activa à migração de líquidos e gases, é constituída por materiais poliméricos ou betuminosos flexíveis, com baixos valores de permeabilidade.

- Geotêxteis

São compostos por fibras naturais ou sintéticas (polipropileno, poliéster, polietileno ou poliamida), o que, associado ao processo de fabrico, lhes permite desempenhar várias funções: drenagem, filtração, separação, protecção e controlo da erosão.

- Geocompósito drenante

Utilizado com a função de drenagem nos taludes, constituído por uma georrede com a função de dreno, unida a um geotêxtil (de ambos os lados ou apenas num) com a função de filtro, ou a uma geomembrana e um geotêxtil, em que a primeira desempenha a função de barreira.

Em função do papel a desempenhar por cada um dos materiais acima mencionados, o grau de importância das propriedades a considerar na sua selecção é variável, conforme ilustrado no Quadro 37.

Para as propriedades relevantes, devem ser especificados ao nível do projecto os valores requeridos, as normas de ensaio e as funções do material. O Quadro 38 e o Quadro 39 exemplificam modelos de fichas de especificações.

Quadro 37 – Grau de importância das propriedades a considerar na escolha de geossintéticos

Propriedades	Geotêxteis e produtos afins					Geomembranas e geossintéticos bentoníticos
	Função					
	filtro	separação	reforço	dreno	protecção	barreira
Espessura	*			**	**	**
Resistência à tracção	**	**	**	**	**	**
Extensão	*	**	**		**	**
Resistência ao punçoamento estático (CBR)		**	**		**	**
Resistência ao punçoamento dinâmico ( <i>cone drop test</i> )		*	**		**	
Atrito			**		*	**
Resistência rasgamento		*	*		*	**
Porometria	**	*		**		n.a.
Permeabilidade normal ao plano (permissividade)	**			*		n.a.
Permeabilidade no plano (transmissividade)	*			**		n.a.
Permeabilidade à água (estanqueidade aos líquidos)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	**
Permeabilidade ao gás (estanqueidade ao gás)	n.a.	n.a.	na	n.a.	n.a.	**
Durabilidade	**	**	**	**	**	**

\*\* muito importante

\* importante

n.a. – não aplicável

(Barroso, M. & Lopes, M.G., 2008)

Quadro 38 – Exemplo de quadro de especificações de geotêxteis

Propriedades		Valores requeridos	Norma de ensaio	Função
Porometria		... $\mu\text{m}$	NP EN ISO 12956	filtro, dreno, separação
Permissividade		$\geq$ ... mm/s	NP EN ISO 11058	filtro, dreno
Transmissividade		$\geq$ ... m/s	NP EN ISO 12958	dreno, filtro
Resistência à tracção	longitudinal	$\geq$ ... kN/m	NP EN ISO 10319	reforço, separação, filtro, protecção, dreno
	transversal	$\geq$ ...kN/m		
Extensão	longitudinal	$\geq$ ... %		reforço, protecção, separação, filtro
	transversal	$\geq$ ... %		
Resistência ao punçoamento estático (CBR) *		$\geq$ ... kN	NP EN ISO 12236	separação, reforço, protecção
Resistência ao punçoamento dinâmico ( <i>cone drop test</i> )*		$\geq$ ... mm	EN 918	reforço, protecção, separação
Resistência ao rasgamento	longitudinal	$\geq$ ... kN/m	e.g. ASTM D 4533	protecção, separação, reforço
	transversal	$\geq$ ... kN/m		
Durabilidade		<i>dependente da propriedade</i>	**	todas
Massa por unidade de área		... g/m <sup>2</sup>	NP EN ISO 9864	todas
Espessura		... mm	NP EN ISO 9863-1	todas
Processo de fabrico		<i>tecido/não tecido, etc.</i>	–	todas
Tipo de polímero		<i>matéria-prima</i>	–	todas

\* Deve ter-se em consideração que este ensaio pode não ser aplicável a determinado tipo de produtos afins, como por exemplo geogrelhas.

\*\* De acordo com o Anexo B da norma europeia harmonizada relativa a aplicação de geotêxteis e produtos afins em aterros de resíduos (NP EN 13257, para resíduos sólidos, e NP EN 13265, para resíduos líquidos).

(Barroso, M.; Lopes, M.G., 2008)

Quadro 39 – Exemplo de quadro de especificações de geomembranas

Propriedades		Valores requeridos	Norma de ensaio
Polímero		<i>matéria-prima</i>	
Superfície		<i>lisa / rugosa</i>	
Massa por unidade de área		... g/m <sup>2</sup>	DIN EN 1849-2
Espessura		... mm	ASTM D 5199
Peso específico		≥ ... g/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1505 / ASTM D 792 (ISO 1183)
Resistência à tracção na cedência	longitudinal	≥ ... kN/m	ASTM D 6693
	transversal	≥ ... kN/m	
Resistência à tracção na rotura	longitudinal	≥ ... kN/m	
	transversal	≥ ... kN/m	
Extensão na cedência	longitudinal	... %	
	transversal	... %	
Resistência ao rasgamento	longitudinal	≥ ... N	ASTM D 1004
	transversal	≥ ... N	ASTM D 1004
Resistência ao punçãoamento estático		≥ ... N	DIN EN ISO 12236
Teor em negro de fumo		≥ ... %	ASTM D 1603
Dispersão em negro de fumo		<i>categoria</i>	ASTM D 5596
Estabilidade dimensional		≤ ... %	ASTM D 1204
Período para aparecimento de fissuração		> ... h	ASTM D 1693

## 6.4.4 Sistema de drenagem de águas pluviais e lixiviados

### Drenagem pluvial

O sistema de drenagem das águas pluviais a implementar no aterro deve considerar as suas características específicas e as condições meteorológicas no local, de modo a minimizar a produção de lixiviados e a erosão dos taludes do aterro.

Deverá contemplar:

- desvio de linhas de água existentes na zona onde se localiza o aterro;
- desvio das águas pluviais que drenam para o aterro a partir das vertentes naturais envolventes;
- drenagem das águas pluviais que caem directamente na área de deposição do aterro;
- drenagem das águas pluviais precipitadas sobre os resíduos durante a fase de exploração;
- drenagem das águas pluviais na zona de edifícios e arruamentos.

O desvio das águas pluviais que drenam directamente para o aterro a partir das vertentes naturais pode ser conseguido por meio de valetas corta-águas localizadas nas cristas dos taludes envolventes.

No que se refere às águas pluviais que caem directamente na área de deposição, a sua drenagem pode ser efectuada por meio de drenos ligados ao sistema de drenagem pluvial do aterro, enquanto a zona não se encontrar preenchida com resíduos.

### Drenagem de lixiviados

O sistema de drenagem de lixiviados tem como objectivo a rápida remoção dos lixiviados do aterro, o controlo da altura de líquido sobre o revestimento inferior e a minimização do risco de infiltração dos lixiviados no solo.

Para tal, e de acordo com o estabelecido no Decreto-Lei n.º 183/2009, devem ser cumpridos os seguintes requisitos:

- a inclinação do fundo do aterro deverá ser no mínimo 2% em toda a área;

- a permeabilidade hidráulica da camada drenante deverá ser igual ou superior a  $10^{-4}$  m/s;
- a espessura da camada mineral drenante, colocada entre os resíduos e o sistema de impermeabilização de fundo, deverá ser no mínimo 0,5 m e isenta de material calcário; pode ser constituída por 0,2 m de areia de granulometria fina a média e 0,3 m de material mineral natural britado ou rolado (20–50 mm); nos taludes esta camada pode ser substituída por materiais sintéticos (geocompósito drenante).

O sistema de drenagem de lixiviados pode contemplar as seguintes componentes, que se destinam a recolher e encaminhar os lixiviados produzidos para fora da zona de deposição de resíduos:

- drenagem de fundo composta por valas principais e secundárias com tubagem em PEAD incorporadas na camada drenante;
- valas secundárias a intersectarem as primeiras;
- sistema separativo e valetas de desvio de águas pluviais;
- caixas de cabeceira e de derivação;
- poços de reunião.

Também a modelação e faseamento de enchimento tem repercussões na produção de lixiviados e conseqüentemente no sistema de drenagem a adoptar.

Tendo como objectivo minimizar a produção de lixiviados, a zona de deposição de resíduos pode ser seccionada em células ou alvéolos mais pequenos (conforme ilustrado na Figura 56), separados hidráulicamente por babetes (Figura 57 e Figura 58).

Deste modo as águas que caem dentro das células em exploração são encaminhadas para o sistema de drenagem de lixiviados, enquanto que as que caem nas células ainda sem resíduos, por não serem contaminadas, são recolhidas e encaminhadas para o sistema pluvial.

A Figura 56 ilustra o funcionamento das caixas de recolha de águas pluviais e de lixiviados projectadas para um aterro cujas células se encontram separadas hidráulicamente.

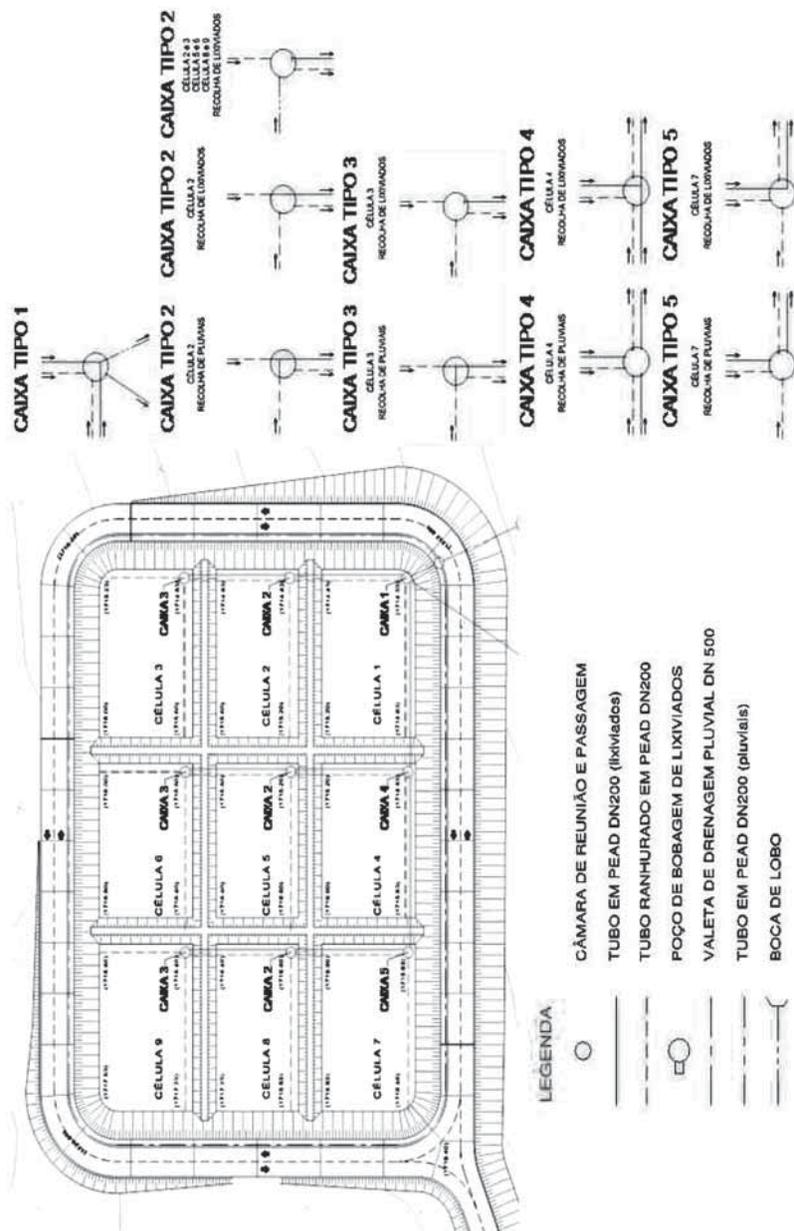


Figura 56 – Exemplo do sistema de drenagem de lixiviados projectado para um aterro

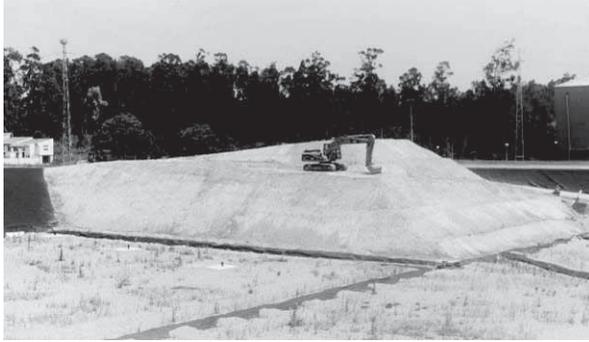


Figura 57 – Sistema de babetes instalado num aterro (Ambirumo)



Figura 58 – Pormenor de babetes (Ambirumo)

#### **6.4.5 Sistema de tratamento de lixiviados**

Os lixiviados recolhidos deverão ser sujeitos a tratamento e posteriormente encaminhados para destino final adequado.

Os processos a utilizar devem ter em conta, por um lado as suas características, por outro os valores-limite legais para a rejeição dos efluentes líquidos e sólidos resultantes.

As características dos lixiviados variam ao longo dos anos de vida do aterro. Assim os lixiviados jovens num aterro com resíduos orgânicos apresentam uma elevada carga orgânica biodegradável e um carácter ácido, enquanto que os mais velhos, na sequência da fase metanogénica, se caracterizam por razões CBO/CQO muito baixas e pH próximo do neutro ou básico. Os lixiviados de resíduos inertes, por sua vez, não terão cargas orgânicas ou químicas significativas.

Os esquemas de tratamento a adoptar deverão assim ser equacionados caso a caso. Genericamente são comuns os tratamentos em reactores biológicos associados a ultrafiltração por membranas, complementados por tratamentos físico-químicos e/ou osmose inversa.

O tratamento por osmose inversa de um lixiviado pré-tratado consegue produzir um permeado com valores adequados para descarga em linhas de água, o que normalmente não é possível apenas com tratamentos biológico e/ou físico-químicos. No entanto o concentrado resultante apresenta elevada salinidade, o que coloca problemas quanto ao seu destino.

As tecnologias mais recentes consideram o tratamento complementar do concentrado da osmose inversa (por exemplo por evaporação em vários estágios, com recirculação do efluente líquido e inertização do sólido) ou esquemas complementares /alternativos, como os baseados em processos de oxidação (fotocatálise, ozonização, oxidação húmida com peróxido).

#### **6.4.6 Sistema de drenagem e tratamento de biogás**

O projecto de um aterro que receba resíduos biodegradáveis deve contemplar a drenagem, captação e tratamento do biogás produzido.

A extracção do biogás é efectuada através de drenos instalados no interior da massa de resíduos, ligados a uma rede de colectores de superfície que o canalizam para o exterior da zona de deposição.

A extracção pode ser efectuada de forma passiva ou activa.

No primeiro caso, devido à diferença de pressão entre o interior do aterro e a atmosfera, o gás flui naturalmente até ao sistema de drenagem, enquanto no segundo, os colectores de drenagem de biogás estão ligados a um sistema de bombagem que assegura o seu encaminhamento até ao queimador ou sistema de aproveitamento, mediante a aplicação de um diferencial de pressão ao longo de toda a tubagem.

Podem ser utilizados:

- drenos verticais instalados durante a exploração do aterro, acompanhando a deposição dos resíduos em altura, com um raio de influência da ordem de 25 m;
- drenos horizontais, com saídas para o exterior;

- corredores/trincheiras nos paramentos e a partir da base;
- combinação de drenos horizontais e verticais.

O biogás captado e drenado deve ser posteriormente submetido a tratamento, para que não seja libertado directamente para a atmosfera.

Este tratamento pode consistir apenas na queima em facho ou, no caso de ser economicamente viável, no seu aproveitamento energético.

#### **6.4.7 Sistema de encerramento**

A cobertura a utilizar no sistema de encerramento de um aterro poderá ser efectuada por meio de um sistema passivo ou activo.

No primeiro caso pretende-se minimizar a infiltração de águas no aterro para diminuição da produção de lixiviados, e assim do volume a recolher, tratar e eliminar, e também da altura de lixiviados na massa de resíduos. Para tal, a cobertura deve ser colocada logo após o final da fase de exploração do aterro.

A desvantagem apontada para este sistema relaciona-se com um período mais longo para a estabilização do aterro e decorrente prolongamento temporal do potencial efeito poluente que este pode induzir.

No segundo caso é permitida a infiltração controlada de águas no aterro, como mecanismo potenciador da degradação anaeróbia dos resíduos, assistindo-se a uma remoção de maiores quantidades de poluentes e à estabilização do aterro mais rapidamente.

Contudo, o volume de lixiviados a recolher, tratar e eliminar é maior, embora por menos tempo, com consequências ao nível dos custos de tratamento. Por outro lado, se o sistema de drenagem de lixiviados não funcionar correctamente, pode verificar-se o aumento da carga hidráulica do lixiviado sobre as barreiras de confinamento inferior e nos taludes.

No entanto, de acordo com a legislação nacional, o sistema de encerramento de um aterro deve cumprir os requisitos mínimos apresentados no Quadro 35 do ponto 6.3, de forma a controlar a infiltração das águas superficiais no interior do aterro, diminuir a produção de lixiviados e garantir a contenção e protecção dos resíduos e a respectiva integração paisagística.

Para este efeito, o sistema de encerramento contempla uma combinação de camadas, constituídas por materiais naturais ou sintéticos, cada uma das quais com funções específicas, nomeadamente:

- camada de drenagem de gases;
- barreira de impermeabilização artificial;
- camada mineral impermeável;
- camada de drenagem pluvial, com 0,5 m de espessura;
- cobertura final com material terroso, com espessura > 1 m.

O sistema de encerramento a adoptar depende dos materiais disponíveis, do tipo de aterro e das condições ambientais locais.

Os custos associados à construção das camadas de drenagem, de recolha de gás e de barreira representam cerca de metade do custo total de cobertura (Barroso, M. & Lopes, M.G., 2007).

Assim, numa perspectiva de redução de custos, têm surgido soluções alternativas para os sistemas de cobertura, nomeadamente coberturas por evapotranspiração e por barreira capilar.

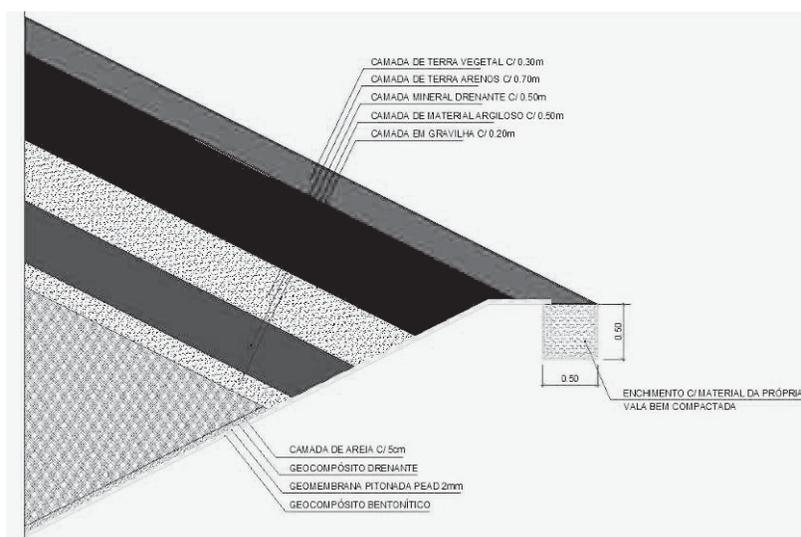


Figura 59 – Esquema de selagem de um aterro

As primeiras consistem na colocação de uma camada espessa de solo fino coberta por vegetação autóctone.

O seu funcionamento baseia-se em duas características dos solos finos: baixa condutividade hidráulica saturada e elevada capacidade de armazenamento em condições não saturadas. O solo não compactado actua como um reservatório, retendo a água até que esta seja removida por evapotranspiração.

De salientar, no entanto, que a espessura da camada de solo deve garantir que as alterações do teor em água não ocorrem junto à base, sob o risco da água se infiltrar nos resíduos subjacentes.

A espessura mínima a adoptar depende da precipitação, das propriedades hidráulicas do solo em condições não saturadas e da rapidez com que a água é evapotranspirada. Por outro lado, também a apetência do solo para o desenvolvimento de vegetação e a elevada capacidade de retenção de água são aspectos a considerar no dimensionamento.

Tal como as convencionais, estas coberturas apresentam problemas relacionados com a dessecação e conseqüente fissu-ração. Acresce ainda o facto de apresentarem um crescimento excessivo das raízes da vegetação e biointrusão.

Apesar de se afigurarem como soluções promissoras para aterros localizados em climas áridos e semi-áridos, estas alternativas carecem ainda de estudos *in situ* para avaliação do seu desempenho.

As coberturas por barreira capilar são constituídas por uma camada de solo fino sobre uma camada de solo grosseiro.

O seu funcionamento baseia-se no facto da camada de solo fino apresentar uma sucção superior à da camada grosseira, em condições não saturadas.

Para que a água migre da camada de solo fino para o solo grosseiro é necessário que a sucção na interface entre as duas seja igual. Se a camada subjacente permanecer não saturada, a camada de solo fino funciona como um reservatório, retendo quase na totalidade a humidade do solo, enquanto a camada de solo grosseiro se comporta como uma barreira à percolação.

No entanto, o desempenho deste tipo de cobertura pode ficar comprometido pela potencial migração do solo fino para a camada mais grosseira, situação que pode ser resolvida com a colocação de um geotêxtil com funções de separação e filtro entre as duas

camadas, e por ocorrência de períodos muito curtos de precipitação elevada.

#### **6.4.8 Vias de acesso**

As vias de acesso e de circulação interna no aterro devem ter uma largura mínima de 6 m, para permitir o cruzamento de viaturas, e inclinações inferiores a 10%.

Por outro lado, o pavimento acima do sistema de revestimento do aterro deve possuir capacidade de suporte e espessura suficiente para a sua salvaguarda, da ordem de 0,60 m.

### **6.5 Aspectos relevantes na construção**

A construção de um aterro envolve essencialmente actividades de preparação do terreno (escavação e aterro) para criação dos espaços destinados à deposição dos resíduos, e implantação das respectivas infra-estruturas de apoio.

A área de deposição de resíduos é infra-estruturada com sistemas de protecção ambiental, nomeadamente impermeabilização e drenagem de pluviais e lixiviados.

A impermeabilização é a fase construtiva mais sensível, na medida em que envolve a colocação de materiais geossintéticos, que deve obedecer a um conjunto de procedimentos com vista a garantir a segurança ambiental do aterro.

De facto, deficiências na colocação destes materiais poderão conduzir a impactes ambientais significativos ao nível da contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

Face à complexidade associada a estes trabalhos, foi desenvolvido pelo LNEC um Plano de Garantia de Qualidade da Instalação dos Geossintéticos, no qual são definidos, para além das responsabilidades dos diversos intervenientes (dono de obra, projectista, empreiteiro, fiscalização, fornecedor/instalador, entre outros), os procedimentos a adoptar e os documentos demonstrativos da qualidade de construção.

Pela sua relevância, realçam-se especificamente neste capítulo tais procedimentos aplicáveis à colocação dos geossintéticos.

#### **Geomembranas**

Antes da colocação da geomembrana a superfície subjacente e a vala de ancoragem devem ser inspeccionadas, para garantir a inexistência de irregularidades superiores a 2 cm (associadas a

pedras, raízes, resíduos, etc.), mudanças bruscas de inclinação, zonas moles, fissuras por secagem excessiva, cavidades, etc.

A vala de ancoragem, a executar antes da colocação da geomembrana, deve possuir os cantos arredondados para não danificar a geomembrana. Também o material a utilizar como enchimento deve ter formas e dimensões que não comprometam a integridade da geomembrana, não devendo também existir solo solto entre a vala e a geomembrana.

Na colocação dos painéis de geomembrana devem ser tidos em atenção:

- eventuais alterações da superfície subjacente;
- limpeza da superfície dos geossintéticos subjacentes às geomembranas;
- processo de desenrolamento das geomembranas;
- condições climáticas existentes e eventuais medidas correctivas (principalmente no que se refere ao efeito do vento);
- equipamento adequado e pessoal qualificado;
- protecção da geomembrana e execução de soldaduras.

As soldaduras dos painéis de geomembranas podem ser efectuadas por diferentes métodos, consoante o tipo de material constituinte da geomembrana.

Nos casos mais comuns, uma vez que as geomembranas são em PEAD, os métodos de soldadura a adoptar devem ser por extrusão e fusão.

No caso de soldaduras por fusão o equipamento utilizado deve possuir indicadores de temperatura e velocidade.

No que se refere às soldaduras de extrusão, a resina utilizada deve ser igual à do fabrico da geomembrana e o equipamento utilizado na sua realização deve possuir indicador de temperatura, principalmente no bocal de extrusão.

Antes de se realizarem as soldaduras de fusão e extrusão devem ser efectuados ensaios sobre amostras, nas mesmas condições em que se farão as soldaduras nas geomembranas.

Só deverá ser autorizada a operação de soldadura se os resultados dos ensaios igualem, ou excederem, os valores indicados nas especificações de projecto.

Para verificar a continuidade das soldaduras são realizados os seguintes ensaios não destrutivos:

- de pressão de ar para as soldaduras por fusão;
- de vácuo para as soldaduras por extrusão.

Estes ensaios devem ser efectuados em todas as soldaduras, à medida que estas se forem executando, e em todo o seu comprimento.

Os ensaios de pressão de ar consistem na injeção de uma determinada pressão no canal existente nas soldaduras de dupla fusão.

Os ensaios de vácuo consistem na lavagem da zona a ensaiar com uma solução de água e detergente líquido, sobre a qual é posteriormente colocada uma câmara transparente e criado vácuo com uma bomba (aproximadamente 5 psi). Observa-se a existência ou não de bolhas de sabão no interior da câmara. O aparecimento de bolhas é um sinal de fuga de ar e de não continuidade da soldadura, devendo-se marcar a zona para posterior reparação.

No caso de necessidade de reparação, é colocado um remendo (da mesma geomembrana) de forma arredondada nos cantos numa área que exceda, pelo menos 0,15 m para cada lado da amostra retirada, sendo posteriormente realizados novos ensaios não destrutivos para comprovação da qualidade da nova soldadura.

Para a avaliação da resistência das soldaduras são realizados ensaios destrutivos de arranque e de corte, de forma aleatória.

### **Geossintéticos bentoníticos**

Na colocação de painéis de geossintéticos bentoníticos devem ser tidos em consideração:

- eventuais alterações da superfície subjacente;
- limpeza da superfície dos geossintéticos subjacentes à bentonite;
- processo de desenrolamento e instalação dos geossintéticos;
- condições climáticas existentes durante a colocação e protecção após colocação.

As uniões entre painéis são normalmente efectuadas por sobreposição, sendo a largura dependente do geossintético bentonítico e das condições locais, variando usualmente entre 150 e 300 mm.

Na união de painéis de geossintéticos bentoníticos com processo de fabrico por agulhagem é adicionada bentonite na zona de sobreposição.

No caso do geotêxtil do geossintético bentonítico ser danificado durante o transporte, manuseamento ou colocação, deve proceder-se à sua reparação através de um remendo de geotêxtil idêntico, numa área que exceda, pelo menos, 30 cm de cada lado a área afectada.

Se houver perda de bentonite, deve ser colocado um remendo numa área que exceda também, pelo menos, 30 cm de cada lado a área afectada.

### **Geotêxteis**

Também na colocação dos geotêxteis devem ser considerados:

- eventuais alterações da superfície subjacente;
- processo de desenrolamento e instalação dos geotêxteis;
- condições climáticas existentes e protecção após colocação.

Consoante as funções desempenhadas pelos geotêxteis, as uniões dos respectivos painéis podem ser efectuadas por costura, soldadura a ar quente ou apenas por sobreposição.

No caso de danificação durante o transporte, manuseamento ou colocação, deve ser colocado um remendo de geotêxtil idêntico, na mesma direcção de fabrico do painel de geotêxtil, numa área que exceda, pelo menos, 30 cm de cada lado a área afectada.

Devem ser adoptadas medidas que assegurem que, em caso de sobreposição, os remendos não se deslocam durante as operações de cobertura.

### **Geocompósitos drenantes**

As operações de colocação de geocompósitos drenantes são semelhantes às indicadas para os geotêxteis, devendo-se prestar particular atenção à ocorrência de sujidade, pedras ou elementos estranhos durante a sua colocação e que possam conduzir à colmatação do dreno.

## **6.6 Aspectos relevantes na exploração**

### **6.6.1 Admissão de resíduos**

Não obstante um determinado resíduo poder ser genericamente associado a uma das classes de aterro estabelecidas (aterros para resíduos inertes, aterros para resíduos não perigosos ou aterros para resíduos perigosos), previamente à sua deposição em aterro dever-se-á conhecer, de forma o mais exacta possível, as suas propriedades gerais, a sua composição, lixiviabilidade e comportamento a longo prazo, devendo ser respeitados os critérios de admissibilidade e/ou as restrições definidos no Decreto-Lei n.º 183/2009 e na Decisão 2003/33/CE.

A efectiva admissão de um resíduo em aterro envolve com efeito um procedimento específico de aceitação, que compreende três níveis de verificação, nos termos definidos na Decisão referida:

- caracterização básica;
- verificação da conformidade;
- verificação no local.

Alguns resíduos podem no entanto ser isentos de algumas etapas deste procedimento. É o caso dos resíduos urbanos classificados como não perigosos no Capítulo 20 da LER e das fracções de resíduos urbanos não perigosas recolhidas selectivamente, que podem ser admitidos em aterros para resíduos não perigosos sem necessidade de ensaios para a caracterização básica.

### **6.6.2 Plano de exploração**

A fase de arranque de exploração de um aterro é bastante delicada, principalmente no que diz respeito aos sistemas de protecção ambiental implantados, na medida em que os riscos destes serem danificados são maiores.

O modo de exploração de um aterro deve atender nomeadamente aos seguintes aspectos:

- quantidades de resíduos a depositar;
- geometria concebida;
- cotas máximas a atingir;
- condições de estabilidade do aterro;
- tipologia dos equipamentos a utilizar.

A cobertura diária dos resíduos com terras é imprescindível para evitar o espalhamento dos resíduos por acção do vento, controlar a emissão de poeiras e odores, bem como evitar a afluência de animais à zona de deposição. Assim, no final de cada dia, deve proceder-se à cobertura dos resíduos depositados com uma camada de terra com espessura entre 15 e 20 cm.

Por outro lado, e com o objectivo de diminuir os caudais de lixiviados produzidos em aterro, as áreas já com resíduos, mas que não estejam em utilização, devem ser cobertas com telas temporárias (Figura 60). Os custos associados à colocação destas telas é muito inferior ao custo de tratamento decorrente do acréscimo de lixiviados provocado pela infiltração de água no aterro.

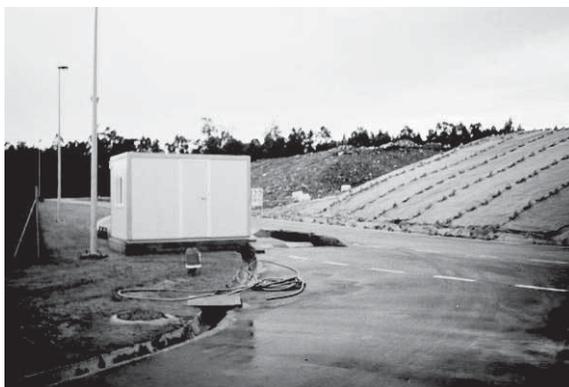


Figura 60 – Exemplo de colocação de telas temporárias (Ambirumo)

### 6.6.3 Gestão dos lixiviados

A gestão dos lixiviados é um aspecto essencial na exploração de um aterro para evitar problemas ambientais dada a sua forte carga poluidora.

Conforme já referido, a legislação em vigor exige que os projectos de aterros contemplem sistemas de drenagem e recolha de lixiviados, tendo em vista a sua rápida remoção do interior do aterro de modo a controlar a altura de líquido sobre o sistema de revestimento para que sejam minimizados os riscos de contaminação dos solos subjacentes.

Por outro lado, estão também previstos na legislação mecanismos que minimizem a entrada de água no aterro com vista ao controlo da produção de lixiviados.

De facto, a orientação de gestão dos aterros tem sido a de evitar a entrada de água na massa de resíduos depositados e de retirar rapidamente os efluentes líquidos produzidos, para tratamento no local antes da sua descarga no meio hídrico.

No entanto, recentemente têm surgido técnicas alternativas relativamente à gestão dos lixiviados, que consistem na sua recirculação na massa de resíduos depositados, em condições controladas, utilizando o aterro como um reator biológico para a eliminação dos poluentes.

Nesta situação provoca-se uma aceleração dos processos de degradação dos resíduos, contribuindo para uma mais rápida estabilização do aterro.

A recirculação de lixiviados permite obter maior uniformização dos caudais a encaminhar para tratamento, menor carga poluente e consequentemente maior facilidade operacional ao nível do tratamento.

No Quadro 40 indicam-se as vantagens e desvantagens associadas à recirculação de lixiviados.

Quadro 40 – Vantagens / desvantagens da recirculação de lixiviados

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aceleração da decomposição dos resíduos devido ao aumento da humidade</li> <li>– Antecipação da estabilização dos resíduos</li> <li>– Estimulação da produção de biogás e do seu subsequente aproveitamento energético</li> <li>– Diminuição da contaminação inorgânica do aterro</li> <li>– Uniformização dos picos de produção de lixiviados</li> <li>– Aumento da capacidade útil do aterro devido ao aumento dos assentamentos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Alteração do balanço hídrico do aterro</li> <li>– Elevação do nível de lixiviados na base do aterro</li> <li>– Aparecimento de líquidos e escorrências adicionais</li> <li>– Instabilização das estruturas do aterro</li> <li>– Geração de odores e libertação de gases</li> <li>– Acumulação de poluentes (efeito atalho)</li> </ul>

Ao nível dos custos deste esquema, haverá uma redução dos relativos ao tratamento e à fase de controlo após encerramento, embora aumentem os custos de investimento e de operação. A redução dos custos a longo prazo compensará no entanto o acréscimo dos custos a curto prazo (Faria, s.d.).

O sucesso da recirculação de lixiviados dependerá fortemente do modo como for efectuada a sua introdução no corpo do aterro (Quadro 41).

Quadro 41 – Métodos utilizados para a recirculação de lixiviados

Método	Descrição	Vantagens	Desvantagens	Observações
<b>Irrigação por pulverização</b>	Método de distribuição à superfície no qual os lixiviados podem ser introduzidos por aspersores, tubos ranhurados ou outro dispositivo.	– redução do volume de lixiviados através de evaporação (até 30%). – humidificação uniforme dos resíduos.	– ocorrência de odores e de problemas ambientais e para a saúde pública.	– não é um método aconselhável.
<b>Lagoas de infiltração</b>	Método que consiste na criação de uma lagoa de lixiviados no topo do aterro.	– requer pouco esforço operacional. – permite a distribuição de lixiviados numa vasta área.	– desenvolvimento de odores e danos ambientais. – pode impedir a introdução de resíduos durante um longo período.	– não é um método recomendável.
<b>Distribuição sob a cobertura</b>	Método em que os lixiviados são introduzidos, usualmente por trincheiras ou tubos, por cima dos resíduos e por baixo da cobertura.	– a distribuição sob a cobertura evita expor directamente os lixiviados à atmosfera. – humidificação uniforme dos resíduos e reduzidos impactes ambientais.	– só podem ser utilizados depois do aterro estar concluído.	– considerado por muitos investigadores como ideal para a recirculação dos lixiviados a longo prazo.
<b>Poços de recarga</b>	Método que utiliza poços de recarga com perfurações em diversos níveis para a distribuição dos lixiviados, ligados (ou não) entre si através de tubagens horizontais perfuradas para alcançar zonas mais secas.	– simplicidade e custo reduzido. – recurso à utilização de poços de recolha de biogás.	– os resíduos não são humidificados de uma forma tão uniforme como nos outros métodos.	
<b>Distribuição horizontal</b>	No método SIREH (sistema integral de recirculação e extracção horizontal) utilizam-se duas tubagens, uma para a introdução dos lixiviados, outra para a extracção do biogás.	– controlo dos odores mais eficiente. – os resíduos são humidificados de uma forma mais uniforme do que nos métodos de distribuição vertical.	– complexidade.	– método mais vanguardista.

(adaptado de Faria, 2007)

Face ao actual quadro legislativo, quer nacional, quer comunitário, a aplicação legal destes métodos encontra-se ainda numa fase de análise.

#### **6.6.4 Captação, drenagem e tratamento de biogás**

A extracção de biogás através da instalação de drenos verticais, sistema mais usual, desenvolve-se em três fases: arranque, exploração e encerramento.

Na fase de arranque, nos locais onde está prevista a instalação de um dreno de biogás é colocado um gabião em rede metálica com um tubo em PEAD no centro, cujo interior é preenchido com material granular britado, com dimensões superiores à da rede, conforme ilustrado na Figura 61.



Figura 61 – Poço de biogás na fase de arranque (Ambirumo)

Durante a fase de exploração o poço de biogás vai subindo, acompanhando a deposição dos resíduos. Esta progressão é feita através da ligação sucessiva de troços de tubagem em PEAD, protegidos por tubos-guia (preenchidos com calhau rolado), conforme ilustrado na Figura 62.

Esta sequência é realizada em cada dreno até faltarem cerca de 2m para atingir a cota final de enchimento. São então instalados os cabeçais dos drenos, em PEAD, a partir dos quais se pode encaminhar o biogás para o sistema de drenagem principal, e através deste para o queimador ou unidade de aproveitamento.



Figura 62 – Poço de biogás na fase de exploração (Ambirumo)

Saliente-se que, sendo o biogás formado em zonas com temperaturas superiores à temperatura ambiente, o seu arrefecimento conduz à formação de condensados que devem ser removidos das condutas de drenagem, a fim de evitar possível colmatação.

Na Figura 63 representa-se o esquema de um poço de drenagem de biogás.

De acordo com o estabelecido no Decreto-Lei n.º 183/2009, caso os gases captados não possam ser utilizados para a produção de energia, deve ser instalado um queimador, que permita a combustão do metano, transformando-o em vapor de água e dióxido de carbono (gás com efeito de estufa inferior em cerca de 20 vezes ao do metano).

Para que essa queima seja eficaz é necessário que:

- o biogás seja correctamente misturado com o ar antes de se efectuar a combustão;
- a temperatura de queima e o tempo de retenção na chaminé sejam suficientes (da ordem de 1.100°C e superior a 0,3 segundos, respectivamente), para se obter a completa combustão dos compostos halogenados e hidrocarbonetos presentes no biogás.

A eficácia da combustão pode ser avaliada visualmente – em situações de queima completa a chama não é visível à luz do dia; pelo contrário, pontos amarelos na chama evidenciam queima incompleta.

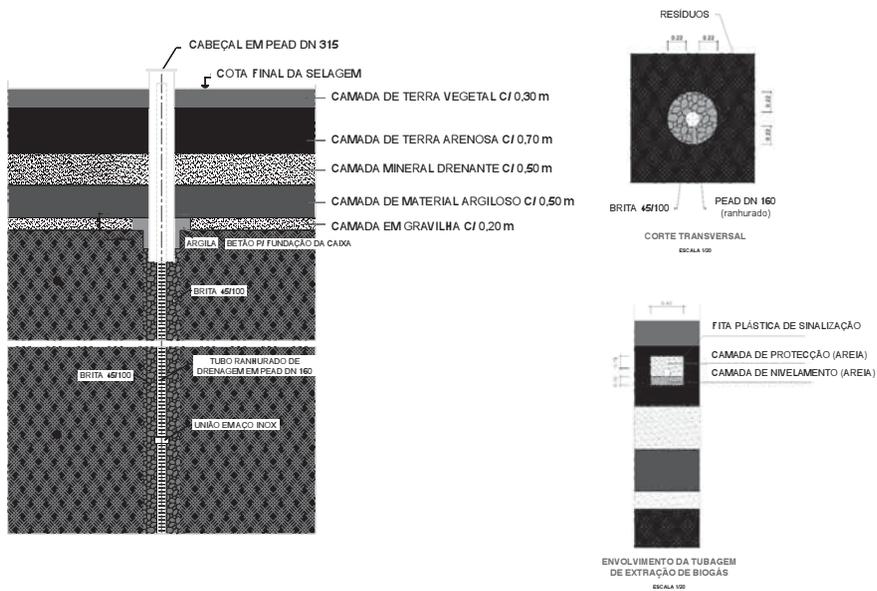


Figura 63 – Poço de biogás projectado para um aterro



Figura 64 – Queimador de biogás (Ambirumo)

### 6.6.5 Aproveitamento energético de biogás

O biogás é composto essencialmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), contendo ainda componentes vestigiais de outros gases (Quadro 42).

Possui um elevado poder calorífico, da ordem de  $20\text{MJ/m}^3$ , equivalente a 50–60% do valor do gás natural, o que lhe confere um potencial energético importante.

Quadro 42 – Composição do biogás – Intervalos típicos

Componente	% em vol. seco
metano	45 – 60
dióxido de carbono	40 – 60
azoto	2 – 5
oxigénio	0,1 – 1,0
sulfitos, bissulfitos, mercaptanos, etc	0 – 1,0
amónia	0,1 – 1,0
hidrogénio	0 – 0,2
monóxido de carbono	0 – 0,2
constituintes vestigiais	0,01 – 0,6
vapor de água	saturado

(Tchobanoglous *et al.*, 1993)

A análise da viabilidade de aproveitamento energético do biogás produzido e captado num aterro envolve a estimativa da sua produção temporal, que depende da quantidade e composição dos resíduos e do tempo decorrido desde a sua deposição em aterro, através do recurso a modelos teóricos, cuja validação deverá ser suportada por ensaios de bombagem.

Estes ensaios podem ser efectuados em todos os drenos ou apenas em alguns, sendo os resultados posteriormente extrapolados para os restantes.

Admitindo-se que durante a fase de exploração e após encerramento é possível recuperar da ordem de 50% a 70% do biogás produzido, podem estabelecer-se com base nos referidos modelos curvas evolutivas de produção e recuperação do biogás, do tipo da apresentada na Figura 65.

De forma generalizada, são utilizados motogeradores para produção de energia eléctrica e térmica, com rendimentos de cerca de 35% e 50%, respectivamente.

Com base nos valores de produção apurados e no poder calorífico inferior do biogás e no rendimento dos motogeradores, é possível traçar curvas de potência eléctrica e calorífica (Figura 66) que vão fundamentar a análise de viabilidade económica.

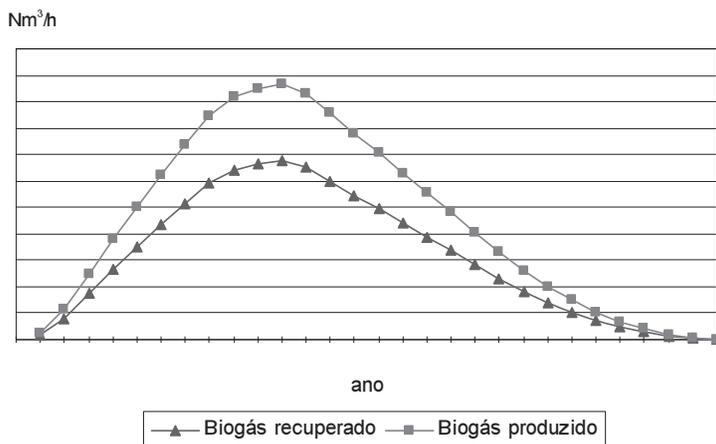


Figura 65 – Curva típica de produção/recuperação de biogás

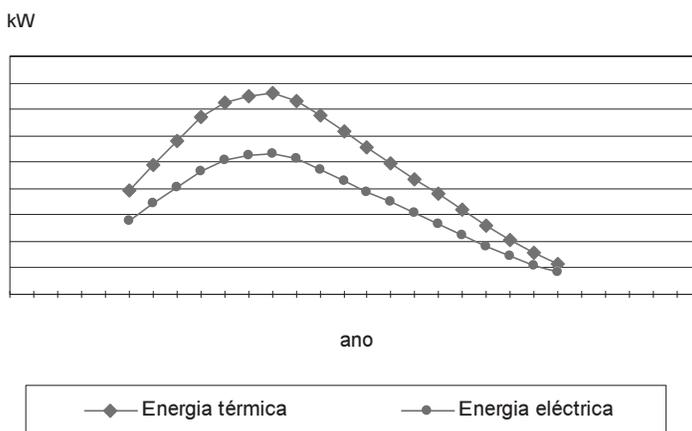


Figura 66 – Curvas típicas de potência eléctrica e térmica resultantes do aproveitamento energético de biogás

## 6.7 Monitorização

Tendo em vista a protecção da qualidade do ambiente e a prevenção de riscos para a saúde humana, o Decreto-Lei n.º 183/2009 estabelece, no Anexo III, a monitorização ambiental a realizar em aterros de resíduos durante as fases de exploração e manutenção (após encerramento).

Para cada uma destas fases são estabelecidos os parâmetros a monitorizar e a respectiva periodicidade no que se refere aos seguintes aspectos:

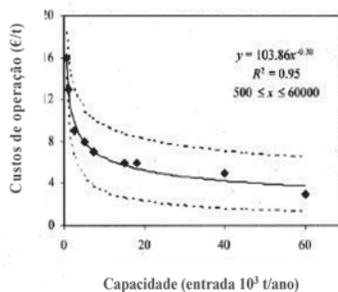
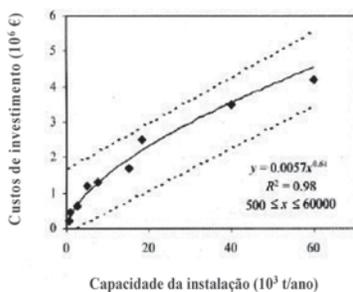
- dados meteorológicos;
- controlo de assentamentos e enchimento;
- topografia;
- controlo de lixiviados;
- controlo de águas subterrâneas;
- controlo de águas superficiais;
- bacias de lixiviados;
- gases.

## 6.8 Custos

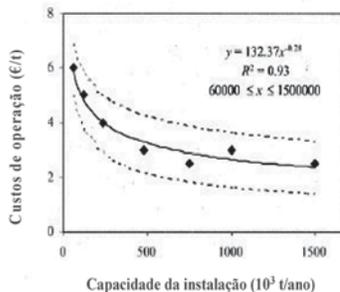
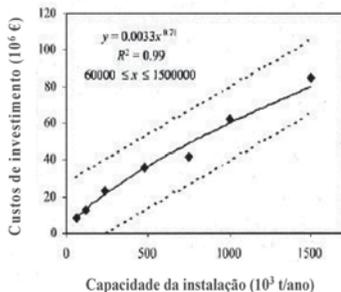
Os custos associados à deposição em aterro são extremamente variáveis com as características do local de implantação e forma de exploração adoptada.

Na Figura 67 apresentam-se as curvas de custo construídas por Tsilemou & Panagiotakkopoulos (2006) para aterros. Na sua utilização deverão ser tidos em conta os aspectos de aplicabilidade relevados pelos autores (v. ponto 4.2.5).

Capacidade ≤ 60.000 t/ano



Capacidade ≥ 60.000 t/ano



(Tsilemou, K. & Panagiotakopoulos, D, 2006)

Figura 67 – Custos de investimento e de operação de aterros (preços 2003)

---

## BIBLIOGRAFIA

---

- ACR+ (2000). *State of selective collection and recycling in European cities*. In Conferencia Internacional sobre innovación en la valorización de los residuos plásticos. ACR-AVR, Madrid.
- ACR+ (2005). *Managing biodegradable household waste: what prospects for european local authorities?* ACR+, Bruxelles.
- ADEME (2001). *La collecte sélective et le traitement biologique des biodéchets des ménages – synthèse générale*. Ademe Éditions, Valbonne, France.
- ADEME (2004). *La gestion sélective des déchets dans les restaurants – Guide technique*. Ademe Éditions, Valbonne, France.
- ADEME (2006). *Amélioration de la collecte des déchets – Bien choisir ses outils d'aide informatiques*. Ademe Éditions, Valbonne, France.
- ADEME; AMF; ECO-EMBALLAGES; HLM (2001). *Habitat collectif – Mettre en œuvre ou développer la collecte sélective*. Ademe / Eco-emballages, France.
- ADEME; ECO-EMBALLAGES (1998). *Guide du centre de tri des déchets recyclables ménagers*. Ademe / Eco-emballages, France.
- Archer, E.; Baddeley, A.; Klein, A.; Schwager, J.; Whiting, K. (2005). *Mechanical-Biological-Treatment: A guide for decision makers – processes, policies and markets*, Version 1.0. Juniper Consultancy Services, Ltd., UK.
- Barroso, M. (2008). *Recent advances on the geosynthetic performance in liner systems and the importance of the Quality Assurance*. In Information exchange and awareness raising event on Landfill of Waste, Lisboa/Amadora, May 2008.
- Barroso, M.; Lopes, M. G. (2007). *Ensinaamentos recentes sobre o desempenho dos geossintéticos em sistemas de confinamento*. In Seminário Geotécnico sobre Aterros de Resíduos – Desenvolvimentos recentes, LNEC, Lisboa.

- Barroso, M.; Lopes, M.G. (2007). *Plano de garantia de qualidade da construção para geossintéticos: sugestões para o futuro*. In Seminário Geotécnico sobre Aterros de Resíduos – Desenvolvimentos recentes, LNEC, Lisboa.
- Barroso, M.; Lopes, M.G. (2008). *Plano de garantia de qualidade da instalação de resíduos*. ICT Informação Técnica, Geotecnia – ITG 27, LNEC, Lisboa.
- CCE (2000). *Guia técnico de biogás*. Centro para a Conservação de Energia, Algés.
- CEBQ/IST (2006). *Avaliação do potencial de produção e utilização de CDR em Portugal Continental – Estudos base*. Instituto Superior Técnico – Centro de Engenharia Biológica e Química, Lisboa.
- Crichton, L.; Jamieson, D.; Ludley, K.; Pannet, L. (2003). *Separate waste collection systems – Best practice review*. Environment Group Research Report, Edinburgh.
- CWC (1997). *Best practices in PET recycling – Automated sorting systems*. CWC, Washington.
- Direcção-Geral do Ambiente (2000). *Exemplos de compostagem e de recolhas selectivas bem sucedidas*. Comunidades Europeias, Luxemburgo.
- Dubanowitz, A.J. (2000). *Design of a materials recovery facility (MRF) for processing the recyclable materials of New York City's municipal solid waste*. Columbia University, New York City.
- E. VALUE (2006). *Impacto das opções e oportunidades de gestão de resíduos na mitigação de gases com efeito estufa em Portugal*. INR, Lisboa.
- EEA (2002). *Biodegradable municipal waste management in Europe*. EEA, Copenhaga.
- EPA (1991). *Material recovery facilities for municipal solid waste*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- EPA (1995). *Decision makers' guide to solid waste management, Volume II*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

- EPA (1999). *Getting more for less improving collection efficiency*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- EPA (1999<sup>a</sup>). *Collection efficiency strategies for success*. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Eunomia Research & Consulting *et al.* (2002<sup>a</sup>). *Costs for municipal waste management in the EU – Final Report to Directorate General Environment*. European Commission. Eunomia Research & Consulting.
- Eunomia Research & Consulting *et al.* (2002<sup>b</sup>). *Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste – Final Report to the European Commission*. European Commission. Eunomia Research & Consulting.
- European Commission (2006). *Integrated pollution prevention and control – Reference document on the best available techniques for waste incineration*. European Commission, Brussels, Belgium.
- Faria, A.L. (2008). *Reverse osmosis concentrate and sludge disposal in landfill*. In Information exchange and awareness raising event on Landfill of Waste, Lisboa/Amadora, May 2008.
- Faria, A.L. (s.d.). *Gestão de lixiviados*. [http://www.ecoservicos.pt/content/documents/047\\_ArtCient.pdf](http://www.ecoservicos.pt/content/documents/047_ArtCient.pdf), 2008-05-12.
- Greenpeace Environmental Trust; TBU; Eunomia (2003). *Cool waste management – A state-of-the-art alternative to incineration for residual municipal waste*. Greenpeace Environmental Trust, London, UK.
- Hannequart, J.P. & Radermaker, F. (2000). *Modalités, coûts et financement de la collecte des déchets en Europe. Bilan général et comparaison des diverses politiques nationales en la matière*. ACR+, Bruxelles, Belgique.
- ISCTE (2002). *A recolha porta-a-porta no sistema de recolha indiferenciada de resíduos sólidos urbanos*. INR, Lisboa.
- ISR (2003). *Análisis económico-ambiental de la recogida de residuos de envases*. ISR, Madrid.

- ISR (2006). *Memoria final sobre la ejecución del proyecto oficina de promoción, coordinación e gestión de asociaciones de fertilización orgánica*. Fundación Biodiversidad, Madrid.
- ISR/EWC; MEDCITIES (2003). *Guidelines for municipal solid waste management in the Mediterranean Region*. ISR, Barcelona.
- Last, S. (2008). *An introduction to waste technologies – The processes used to recycle, treat, and divert municipal solid waste away from landfills*. Waste Technologies UK Associates 2006-2008, Janeiro.
- Levy, J.Q.; Cabeças, A. (2006). *Resíduos sólidos urbanos – Princípios e processos*. AEPSA, Lisboa.
- LIPOR (2008). *Plano Estratégico para a gestão sustentável dos resíduos sólidos do Grande Porto 2007-2016*. LIPOR, Baguim do Monte.
- Martinho, M.G.M. & Gonçalves, M.G.P. (2000). *Gestão de resíduos*. Universidade Aberta, Lisboa.
- Roque, A.J. (2007). *Ensinamentos recentes sobre o desempenho das camadas minerais em sistemas de confinamento*. In Seminário Geotécnico sobre Aterros de Resíduos – Desenvolvimentos recentes, LNEC, Lisboa.
- Saintmard, C. (2005). *Managing biodegradable household waste: What prospects for european local authorities?* ACR+, Bruxelles.
- SPV (2007). *Caracterização dos sistemas municipais aderentes ao Sistema Ponto Verde 2006*. SPV, Dafundo.
- SPV (2007<sup>a</sup>). *Especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagens*. SPV, Dafundo.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues*. McGraw-Hill International Editions.
- Teichmann, D.; Masood, S.; Iovenitti, P.; Sbarski, I.; Kosior, E. (s.d.). *Development of high performance sorting process for recycling of plastics*.
- Tsilemou, K. & Panagiotakopoulos, D (2006). *Approximate cost functions for solid waste treatment facilities*. In *Waste Management & Research*.

VALOR AMBIENTE (2007). *Estação de transferência da zona leste e estação de triagem da ilha da Madeira*. Valor Ambiente, Funchal.



## Opções de gestão de resíduos urbanos

Os serviços de gestão de resíduos urbanos em Portugal têm revelado nas últimas duas décadas uma evolução assinalável, subsistindo contudo ainda grandes desafios como forma de cumprir os objectivos de hierarquização das opções de gestão, impostos pelo normativo nacional e comunitário, que privilegia a reciclagem e a valorização dos resíduos urbanos em detrimento da sua eliminação.

Neste contexto, é necessário efectuar novos investimentos na instalação de unidades de valorização de resíduos, com tecnologias avançadas, que impõem grande esforço financeiro e maior complexidade de exploração.

Neste sentido, a ERSAR entendeu editar o presente guia técnico, com o objectivo de proporcionar às entidades gestoras um instrumento que ajude a melhor capacitar o sector de gestão dos resíduos urbanos, fornecendo informação detalhada sobre as várias operações, apoiada por casos de estudo de soluções em funcionamento, em que se identificam, sempre que possível e em função da informação disponível, os aspectos positivos e os principais constrangimentos existentes.

