



Interreg

España - Portugal

0029_SECASOL_5_E



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

Produto do Projeto n.º 1 (PP1)

Potencial de aplicação da energia solar térmica de concentração aos processos de depuração de águas residuais e de tratamento de resíduos sólidos urbanos

POCTEP 2014-2020 / Projeto n.º : 0029_SECASOL_5_E
Início do projeto: 01/12/2017
Duração do projeto: 25 meses

Projeto SECASOL	
Fomento de tecnologías innovadoras para la mejora de la eficiencia en el proceso de secado de los lodos de Aguas Residuales y de secado de Residuos Sólidos Urbanos mediante el uso de Tecnologías Solares en Andalucía-Algarve-Alentejo	
Data de entrega	31/11/2018
Parceiro responsável	LNEG
Pessoa responsável	David Loureiro
Autor(es)	Victor Mantilla (LNEG), Miguel Miranda (LNEG), Santino di Berardino (LNEG), David Loureiro (LNEG), João Cardoso (LNEG), Ivo Dias (GESAMB), Gonzalo Lobo (CENTA), António Martins (AdA), Elisabet González (CESPA), Silvia Pérez (CESPA)
Revisto por	
Grau de disseminação	Público

ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras	4
Índice de Tabelas	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS.....	10
2.1. Águas residuais e poluição.....	10
2.2. Tratamento de águas residuais	11
2.3. Operações e processos de tratamento de águas residuais	16
2.4. Grau de tratamento das águas residuais - Enquadramento legislativo.....	19
2.5. Tratamento das lamas	20
2.6. Tratamento das lamas em ETAR de pequena dimensão: desidratação/secagem e leitos de macrófitas	25
2.7. Gestão das lamas e enquadramento legislativo.....	26
2.8. A importância na implementação de processos de desidratação/secagem de lamas e os possíveis destinos.....	28
2.9. Tratamentos térmicos na depuração das águas residuais - secagem de lamas.....	29
2.9.1. Secagem térmica.....	29
2.9.2. Objetivos do processo de secagem	29
2.9.3. Tecnologias para a secagem de lamas	30
2.9.4. Vantagens e desvantagens da secagem térmica.....	31
2.9.5. Tratamento da fase gasosa	33
2.9.6. Algumas considerações económicas e financeira.....	33
3. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	35
3.1. Triagem e valorização.....	37
3.2. Tratamento Mecânico e Biológico.....	37
3.3. Compostagem	39
3.4. Aterro sanitário	39
3.5. Incineração.....	39
3.6. Processos de secagem alimentados por energia solar térmica	40
3.7. Processos de secagem no processamento de RSU	40
3.8. Processos alimentados com energia solar térmica	41
4. INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	46
4.1. Algarve.....	46
4.1.1. Resíduos Sólidos Urbanos - Algar	47

4.1.2.	Águas residuais – Águas do Algarve.....	48
4.2.	Alentejo.....	49
4.2.1.	Resíduos sólidos urbanos - GESAMB	51
4.2.2.	Resíduos sólidos urbanos – Associação de Municípios do Alentejo Central (AMCAL).....	56
4.2.3.	Resíduos sólidos urbanos - RESIALENTEJO	57
4.2.4.	Resíduos sólidos urbanos - AMBILITAL	58
4.2.5.	Resíduos sólidos urbanos – VALNOR.....	59
4.2.6.	Águas Residuais – Águas Públicas do Alentejo.....	60
4.2.7.	Águas Residuais – Águas de Santo André	61
4.2.8.	Águas Residuais – Águas do Centro do Alentejo.....	62
4.3.	Andaluzia	62
4.3.1.	Instalações de secagem de lamas térmicas (biossólidos) na Andaluzia	66
4.3.2.	Estações de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos de Huelva.....	67
5.	RECURSO SOLAR E POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRAÇÃO.....	69
5.1.	Recurso Solar.....	71
5.1.1.	Algarve	72
5.1.2.	Alentejo	77
5.1.3.	Andaluzia.....	85
5.2.	Potencial técnico de secagem com energia solar térmica	89
6.	Conclusões	93
	Referencias Bibliograficas.....	94

Índice de Figuras

Figura 1 - Sistema de tratamento secundário do esgoto por lamas ativadas; Sistema de tratamento de lamas; Utilização do biogás.....	13
Figura 2 - Sistema de tratamento secundário e com remoção de nutrientes.....	14
Figura 3 - Processos de tratamento avançados ou terciários.	15
Figura 4 - Configuração de um sistema de leitos macrófitas para desidratação de lamas. ...	26
Figura 5 - Diagrama de fluxo geral para um processo de secagem térmica.	29
Figura 6 - Processo de secagem parcial e completa de lamas desidratadas.	31
Figura 7 - Diagrama de fluxo do processo Carver-Greenfield (CG).....	32
Figura 8 - Diagrama de fluxo da central Hyperion Energy Recovery System (HERS).....	33
Figura 9 - Ciclo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos..	35
Figura 10 - Estação de transferência da GESAMB..	36
Figura 11 – Exemplo de equipamento de deposição de resíduos valorizáveis.....	36
Figura 12 - Fases do tratamento mecânico biológico (TMB).....	38
Figura 13 - Tecnologias de concentração solar térmica: a) Cilindro parabólico, b) Fresnel Linear, c) Torre central e d) Disco Parabólico.	41
Figura 14 - Estação de tratamento de águas residuais utilizando os concentradores cilindro parabólicos para a secagem das lamas.....	42
Figura 15 - Reator Fotográfico Solar.....	44
Figura 16 - Localização geográfica do Alentejo, Algarve e Andaluzia.	46
Figura 17 - Ubicacão dos aterros sanitarios e das ETAR no Algarve.	46
Figura 18 - Mapa da região do Algarve com a infraestrutura da Algar.....	47
Figura 19 - Evolução da capitação de RSU no Algarve pela empresa Algar.....	48
Figura 20 - Gráfico dos destinos dos RSU no Algarve..	48
Figura 21 - Sistema multimunicipal de abastecimento de água e saneamento de águas residuais do Algarve..	49
Figura 22 - Localização dos aterros sanitários e das ETAR no Alentejo.....	50
Figura 23 - Infraestrutura que integram a GESAMB.	51
Figura 24 - Fluxograma da operação do tratamento de RSU na GESAMB.....	52
Figura 25 - Quantidades mensais de matéria residual rececionada (2015)..	53
Figura 26 - Destino dos RSU. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).....	56
Figura 27 - Evolução da capitação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa AMCAL....	57

Figura 28 - Destinos finais dos RSU captados pela empresa AMCAL.....	57
Figura 29 - Evolução da captação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa RESIALENTEJO..	58
Figura 30 - Destinos finais dos RSU capitados pela empresa RESIALENTEJO..	58
Figura 31 - Evolução da captação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa AMBILITAL..	59
Figura 32 - Destinos finais dos RSU capitados pela empresa AMBILITAL..	59
Figura 33 - Evolução da captação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa VALNOR..	60
Figura 34 - Destinos finais dos RSU coletados pela empresa VALNOR..	60
Figura 35 - Estações de tratamento de águas residuais na Andaluzia. Número de estações de tratamento de água construídas.....	62
Figura 36 - Estações de tratamento de águas resíduais na Andaluzia..	63
Figura 37 - Destino final das lamas produzidas no tratamento de águas residuais (milhares de toneladas de materia seca)..	66
Figura 38 - Tratamento de águas residuais em Guadalhorce.....	67
Figura 39 - ETAR de Guadalhorce.....	67
Figura 40 - Central de tratamento de Villarasa.	68
Figura 41 - Central de tratamento de RSU do Andevalo.....	68
Figura 42 – Distribuição da DNI em Portugal.....	70
Figura 43 - Distribuição da DNI em Espanha..	71
Figura 44 – Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Porto de Lagos.	72
Figura 45 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Boa Vista.	73
Figura 46 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Companheira.....	73
Figura 47 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Albufeira.	73
Figura 48 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Almargem.	74
Figura 49 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Faro Noroeste.	74
Figura 50 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Lagos.	74

Figura 51 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vale do Faro.	75
Figura 52 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Olhão Nascente.....	75
Figura 53 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vila Real do Santo Antonio.....	75
Figura 54 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vilamoura.	76
Figura 55 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Évora.....	77
Figura 56 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vila Ruiva.....	77
Figura 57 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal do Aterro Sanitário da Resialentejo.	78
Figura 58 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Alcacer do Sal.....	78
Figura 59 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Aljustrel.	78
Figura 60 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Almodovar.	79
Figura 61 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Alvito.	79
Figura 62 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Beja.....	79
Figura 63 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Castro Verde.....	80
Figura 64 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Grândola.	80
Figura 65 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Mértola.....	80
Figura 66 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Montemor-o-Novo.....	81
Figura 67 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Moura.....	81
Figura 68 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Odemira.	81

Figura 69 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Ourique.	82
Figura 70 Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Santiago do Cacém.	82
Figura 71 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Serpa.	82
Figura 72 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vendas novas.	83
Figura 73 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Viana do Alentejo.	83
Figura 74 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vidigueira.	83
Figura 75 Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal na Ribeira de Moinhos da empresa AdSA.	84
Figura 76 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Évora da empresa AcA.	84
Figura 77 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Almeria.	86
Figura 78 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Cádiz.	86
Figura 79 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Córdoba.	86
Figura 80 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Granada.	87
Figura 81 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Huelva.	87
Figura 82 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Jaén.	87
Figura 83 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Malaga.	88
Figura 84 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Sevilla.	88

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de caracterização das águas residuais.....	11
Tabela 2 - Operações e processos usados para o tratamento do esgoto.	16
Tabela 3 - Eficiência de remoção de poluentes químicos - níveis de tratamento primário, secundário, terciário e avançado.....	17
Tabela 4 - Tratamentos biológicos mais utilizados e respetivas vantagens e desvantagens.	18
Tabela 5 - Tratamentos terciários.	19
Tabela 6 - Processos termoquímicos.	25
Tabela 7 - Poder calorífico superior dos diferentes tipos de lamas.	32
Tabela 8 - Quantidades anuais de material rececionado e depositado em aterro (2014-2015).	53
Tabela 9 - Material recepcionado (recolha seletiva).	54
Tabela 10 - Entradas e saídas de material (RSU Indiferenciados) na UTMB (2015).	54
Tabela 11 - Quantidades mensais de RSU separados na UTMB (2015).....	54
Tabela 12 - Tratamento de lixiviados (ETAL – GESAMB 2014 e 2015).....	55
Tabela 13 - Perfil do sistema de saneamento de Águas Residuais no ano 2016 da empresa AgdA.	60
Tabela 14 - Número de estações de tratamento para populações (>2 000 habitantes).....	63
Tabela 15 - Tratamentos utilizados nas províncias de Andaluzia.	64
Tabela 16 – Estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância directa no plano normal nas principais instalações de tratamento de RSU e águas residuais do Algarve.	76
Tabela 17. Estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância directa no plano normal nas principais instalações de tratamento de RSU e águas residuais do Alentejo.	85
Tabela 18 - Resumo do potencial da radiação nos locais da região de Andaluzia	88
Tabela 19 - Resultados da estimativa da secagem no Algarve.....	91
Tabela 20 - Resultados da estimativa da secagem no Alentejo.....	91
Tabela 21 - Resultados da estimativa da secagem em Andaluzia.	92

1. INTRODUÇÃO

Os processos de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) ou resíduos urbanos (RU) resultam na deposição final em aterro sanitário controlado de uma grande quantidade de resíduos. Estes apresentam teores de humidade não desprezáveis, representando um acréscimo à massa e volume de material a depositar e potenciando a ocorrência de lixiviados. Por outro lado, a alternativa à deposição em aterro pode passar pela produção de combustível derivado de resíduos (CDR), que para ser economicamente viável necessita de ser produzido com um baixo teor de humidade. Por seu lado, os processos de tratamento das águas residuais resultam na produção de lamas com uma grande percentagem de humidade, elevando os custos com o seu tratamento, nomeadamente ao nível do transporte. A secagem destes resíduos assume assim interesse económico e ecológico, permitindo uma redução de custos com o processo de deposição e tratamento destes resíduos bem como a redução do peso de material a tratar.

A secagem de RSU ou CDR e de lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) representa um processo energeticamente intensivo, na medida em que requer a evaporação da água contida nestes resíduos sob a forma de humidade. Tradicionalmente os processos de secagem destes resíduos utilizam combustíveis fósseis, biogás produzido em aterro sanitário ou processos lentos como a bio-secagem, isto é a evaporação convectiva, utilizando o calor da biodegradação aeróbia dos resíduos.

O abundante recurso solar existente na generalidade da Península Ibérica, particularmente na sua zona Sul, poderá ser aproveitado para alimentar diversos processos térmicos, como a secagem, sendo atualmente bastante subaproveitado. Para além do aumento da incorporação de fontes renováveis no sistema energético, contribuindo para a sua descarbonização e sustentabilidade, a inserção das tecnologias solares permite aumentar a segurança energética, contribuindo para a economia do país, através da utilização de uma fonte de energia endógena. Neste sentido, as tecnologias de concentração solar térmica (CST) distinguem-se das outras energias renováveis por apresentarem um potencial único de integração em processos que requerem calor tal como em sistemas que utilizam eletricidade, dispondo mais facilmente da capacidade de armazenar energia a custos competitivos, através de sistemas de armazenamento de energia térmica.

O projeto SECASOL pretende fomentar a utilização de tecnologias inovadoras para a secagem de resíduos sólidos urbanos e de lamas resultantes dos processos de depuração de águas residuais, preconizando a utilização de tecnologias solares térmicas de concentração. O presente relatório tem como propósito apresentar uma estimativa do potencial de utilização de energia solar térmica nos processos de secagem acima referidos para as regiões do Alentejo, Algarve e Andaluzia.

Este documento apresenta uma descrição geral dos sistemas de tratamento usados para a depuração das águas residuais e na gestão de resíduos sólidos urbanos, focando as diversas operações e processos disponíveis e o grau de tratamento que conseguem alcançar, visando a identificação dos processos de secagem térmica que podem ser alimentados por tecnologias de concentração solar. Finalmente o recurso solar disponível e a quantidade de matéria por unidade de área de coletores instalados que pode ser processada com recurso a energia solar térmica são estimados para os locais onde se encontram as estações de tratamento de águas residuais e as estações de tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos urbanos.

2. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.1. Águas residuais e poluição

Designam-se por águas residuais (AR) todos os efluentes provenientes de sistemas de esgoto bem como outros efluentes provenientes de diferentes fins e cujas características naturais foram alterados.

A poluição existente nas águas residuais depende da utilização dada à água (que introduz alterações nas suas propriedades naturais) e que a tornam imprópria para consumo ou para outras aplicações que exijam determinados parâmetros de qualidade.

O Decreto-Lei n.º 152/97 classifica as AR como sendo:

- a) Águas residuais domésticas, quando são provenientes de serviços e instalações residenciais;
- b) Águas residuais industriais, quando provenientes de qualquer tipo de atividade que não possa ser classificada como doméstica ou ainda considerada como sendo águas pluviais;
- c) Águas residuais urbanas, que resultam da mistura de efluentes domésticos com caudais de infiltração e águas pluviais com os efluentes residuais industriais e que estão abrangidos pela rede coletora.

As águas residuais domésticas contêm matéria orgânica de origem fecal, urinas e produtos químicos. É bastante biodegradável e possui uma composição físico-química relativamente constante no tempo. As águas residuais industriais dependem do tipo de processamento e apresentam uma composição específica e geralmente variável no tempo. As águas residuais de origem pluvial são geralmente pouco poluídas e normalmente são transportados por coletores separados do esgoto e descarregadas diretamente para o meio recetor ou reutilizadas.

Numa análise global, a poluição presente no esgoto pode ser classificada em quatro grandes categorias, nomeadamente:

- Poluição física;
- Poluição química;
- Poluição bioquímica;
- Poluição por organismos patogénicos.

A poluição física tem origem nos materiais orgânicos e inorgânicos que se encontram em suspensão na água provocando alteração da cor, depósito de sedimentos e ainda o aumento da temperatura, densidade e viscosidade.

A poluição química que se encontra nos efluentes domésticos é proveniente dos compostos químicos adicionados durante o uso da água, tais como detergentes e desinfetantes (entre outros). Nos efluentes industriais a poluição química é altamente dependente do tipo de indústria bem como do respetivo processamento. As escorrências de terrenos agrícolas induzem à poluição química nos meios hídricos onde confluem, provocando graves perturbações tais como turvação das águas, variação do pH e potencial *redox*, afetando a vida biológica e a saúde do meio recetor. Estas escorrências não confluem para a rede coletora, sendo uma poluição disseminada, não tratável com sistema de depuração artificiais, embora controlável com sistemas naturais.

A poluição bioquímica é gerada pela matéria orgânica e nutrientes presentes nas excreções humanas e de origem animal bem como dos efluentes da indústria alimentar.

No meio recetor que recebe um efluente rico em compostos orgânicos e nutrientes ocorrem reações biológicas de decomposição que originam alterações na cor, na turvação e na redução do oxigénio. Acresce que a presença de azoto e fósforo estimula a proliferação de plantas e vegetação, provocando a eutrofização do meio recetor.

A contaminação é provocada por agentes infectocontagiosos tais como bactérias e protozoários de origem intestinal, presentes na matéria fecal de indivíduos portadores de doenças, podendo resultar num problema de saúde pública. Hoje em dia a legislação especifica os parâmetros a analisar relativos à qualidade da água para diversos fins bem como das águas residuais. Na Tabela 1 resumem-se os principais parâmetros utilizados para a caracterização das AR (Bitton, 2005).

Tabela 1 - Parâmetros de caracterização das águas residuais.

<i>Parâmetros</i>	<i>Tipologia</i>
Físicos	- Temperatura
	- Cor
	- Turvação
	- Sólidos totais ou matéria seca
	- Sólidos voláteis
Organoléticos	- Carbono Orgânico Total (COT)
	- Sabores e odores
Químicos	- pH
	- Alcalinidade
	- Dureza
	- Oxigénio dissolvido
	- Carência Bioquímica em Oxigénio (CBO)
Biológicos/Sanitários	- Carência Química em Oxigénio (CQO)
	- Coliformes totais e fecais
	- <i>Streptococcus</i> fecais
	- Colesterídeos

2.2. Tratamento de águas residuais

As estações de tratamento desempenham a tarefa de remover os elementos poluidores da água e gerar um efluente com concentrações inferiores aos limites de descarga nos meios recetores disponíveis e definidos pela legislação. Estes sistemas permitem preservar o equilíbrio ecológico dos meios recetores, tendo um impacto significativo e direto na saúde e no bem-estar, na preservação da diversidade biológica dos ecossistemas aquáticos e terrestres e, ainda, no desenvolvimento urbano e industrial.

Para se poder dimensionar uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) é necessário definir quais são os parâmetros que representam as diversas formas de poluição presentes no esgoto. Genericamente os esgotos caracterizam-se por apresentarem uma composição muito diversa e variável pelo que, de modo a poder simplificar o dimensionamento de um sistema de tratamento, foram estabelecidos parâmetros de caracterização representativos da qualidade global das águas residuais, que permitem avaliar de forma razoável a carga poluidora, prever os impactos causados no meio recetor e viabilizar o controlo e o desempenho do sistema de tratamento.

Entre estes parâmetros poder-se-ão destacar:

- Sólidos Totais (ST) - quantidade de sólidos totais - matéria seca - contida no efluente residual;
- Sólidos Voláteis (SV) - quantidade total de matéria orgânica contida no efluente residual;
- Sólidos Suspensos Totais (SST) - quantidade de matéria total existente na forma de partículas;
- Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) - quantidade de matéria orgânica existente na forma de partículas;
- Carência Química em Oxigênio (CQO) - determinação das substâncias orgânicas e inorgânicas suscetíveis de serem oxidadas por ação de agentes oxidantes fortes por via da utilização de produtos químicos ou por micro-organismos;
- Carência Bioquímica em Oxigênio (CBO) - quantificação do oxigênio necessário à oxidação da matéria orgânica decomponível por meio da ação bioquímica aeróbica por via da utilização de produtos químicos ou por micro-organismos;
- Carbono Orgânico Total (COT) - medida aplicada especialmente para águas com baixos teores de matéria orgânica onde o carbono orgânico é totalmente oxidado ou convertido em anidrido carbônico;
- Nutrientes - azoto amoniacal e orgânico e fosfato, sendo compostos que provocam a eutrofização.

As estações de tratamento de águas residuais caracterizam-se por uma sequência de operações e processos unitários que visam melhorar a qualidade do efluente, usualmente constituídos por:

a) *Tratamento preliminar* - Por via da gradagem procede-se à remoção de elementos grosseiros, flutuantes e sedimentáveis que possam obstruir os circuitos hidráulicos subsequentes (p. ex. tubagens e bombas). Segue-se a remoção de areias e gorduras, usando dispositivos apropriados (p. ex. desarenação e desengorduramento). Coloca-se ainda um medidor de caudal para medição, compilação e registo dos caudais tratados.

b) *Tratamento primário* - Permite a remoção dos sólidos decantáveis mediante um tanque de sedimentação ou uma unidade de flotação apoiada por coagulantes (reagentes químicos que permitem a formação de flocos). A sedimentação remove cerca de 30-35% da matéria orgânica correspondente à fração de matéria suspensa sedimentável presente no esgoto. Esta operação física gera uma lama com 4-6% de matéria concentrada que é denominada de Lama Primária. Feito este tratamento, ficam ainda no esgoto a matéria suspensa coloidal e a matéria dissolvida, que seguem geralmente para o tratamento sucessivo nas ETAR que tratam o esgoto doméstico. Em alternativa podem-se juntar ainda coagulantes para agregar a matéria coloidal e promover a sua separação por decantação ou flotação, constituindo assim um tratamento primário avançado. Este tratamento permite uma taxa de remoção de matéria orgânica na ordem dos 45-55%. Esta última solução é mais usada no tratamento de efluentes industriais.

c) *Tratamento biológico ou secundário* - A restante carga orgânica biodegradável poluidora existente no efluente residual, após a decantação, encontra-se em forma dissolvida e coloidal, sendo tratada por meio dos processos biológicos. Um ativo conjunto de microrganismos aeróbios, crescem e reproduzem-se ao alimentarem-se da matéria orgânica e nutrientes contidos no efluente, formando assim densas lamas. Neste processo verifica-se ainda a conversão de parte da matéria orgânica em CO₂ e H₂O, por respiração. Os microrganismos formados em excesso durante este processo são removidos por sedimentação, formando uma lama dita biológica ou secundária. O tratamento secundário mais comum é o

processo de lamas ativadas, onde é fornecido oxigênio para assegurar as condições aeróbicas onde intervêm também microrganismos nitrificantes. Dentro dos sistemas de tratamento biológico poder-se-ão destacar os sistemas de biomassa fixa (sistemas de leitos percoladores) e os sistemas de biomassa em suspensão (sistemas de lamas ativadas), não obstante da relevância dos sistemas de lagunagem e leitos de plantas para pequenas comunidades.

No esquema da Figura 1 são apresentadas três linhas de tratamento, nomeadamente o sistema de tratamento secundário do esgoto por lamas ativadas (parte superior), o sistema de tratamento de lamas (parte central) e a recuperação e utilização do biogás (parte inferior).

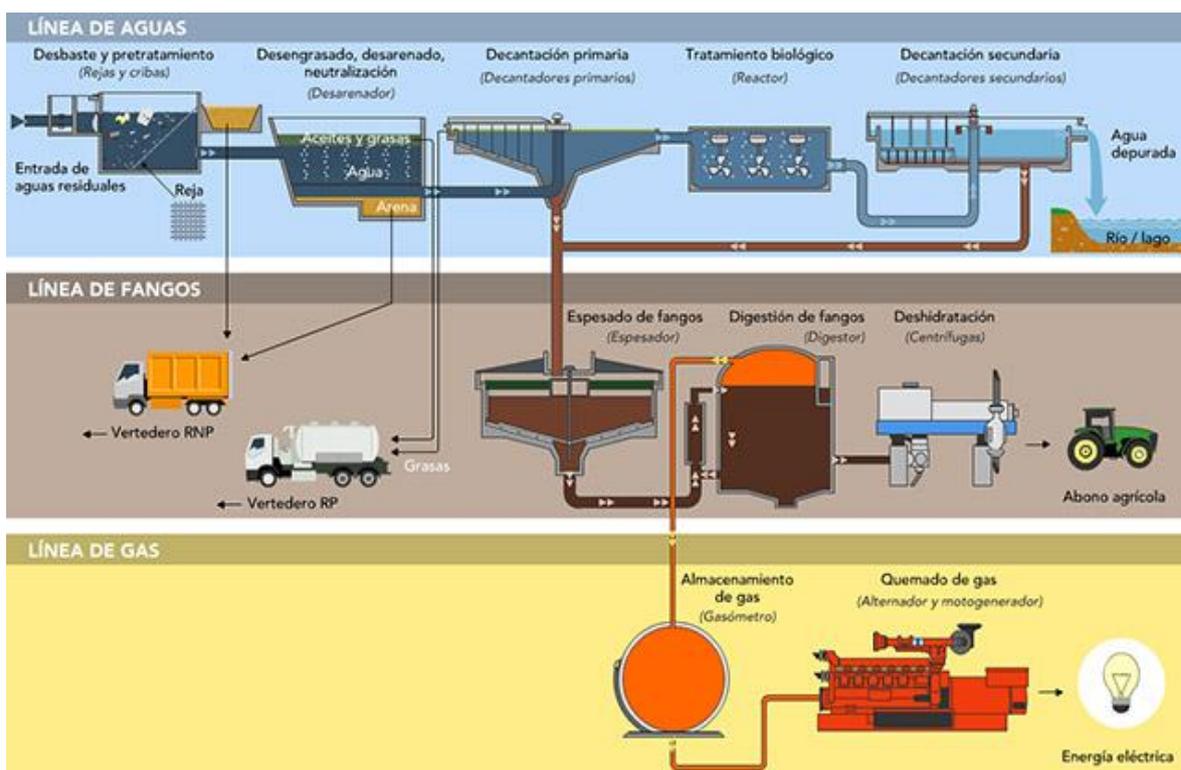


Figura 1 - Sistema de tratamento secundário do esgoto por lamas ativadas (parte superior); Sistema de tratamento de lamas (parte central); Utilização do biogás (parte inferior). (Fonte: Trindade Rodrigues Silva Moura, 2011).

d) *Tratamento avançado e terciário* - Os processos de tratamento secundário podem remover até 90% do conteúdo orgânico das águas residuais e removem poucos nutrientes. Incluem-se nos tratamentos avançados os adicionais aplicados para além do tratamento secundário, que aumentam a eficiência global, para cumprir os limites de descarga definidos por diplomas legais mais exigentes ou para se efetuar a reutilização da água. No caso de meio recetor sensível, efetua-se a remoção adicional de azoto e fósforo. A tecnologia mais usada combina com o sistema de lamas, os processos biológicos de nitrificação desnitrificação (que removem o azoto) e uma fase biológica anaeróbia que remove o fósforo. Este último pode ser recuperado por precipitação e reutilizado. Os sistemas de tratamento que incluem a remoção de compostos são designados de tratamento secundário com remoção de nutrientes ou terciários.

Na Figura 2 apresentam-se os esquemas do processo secundário convencional (lamas ativadas) com processo de oxidação e nitrificação e, ainda, o processo biológico de remoção simultânea de nutrientes (matéria orgânica, azoto e fosforo). Em Portugal é frequente a

aplicação de tratamentos com remoção de nutrientes para obedecer aos limites de descarga em meios sensíveis.

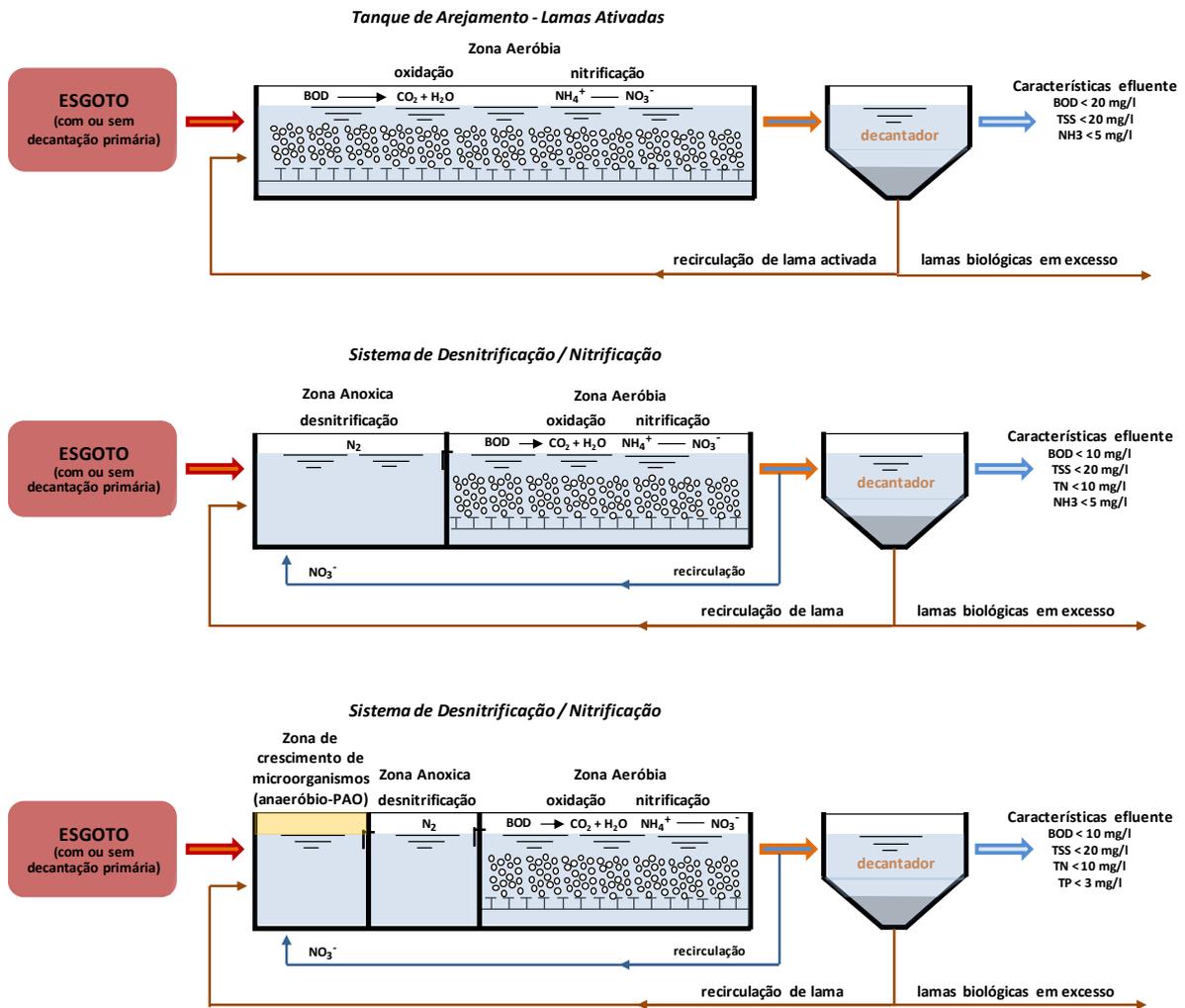


Figura 2 - Sistema de tratamento secundário e com remoção de nutrientes. (Di Berardino and Miranda, 2018).

e) *Tratamento terciário e desinfecção* - Se o efluente for usado na irrigação agrícola é suficiente o processo secundário, mas deve-se prever o armazenamento e a desinfecção, durante o período de estiagem. Se o meio recetor tem prática balnear, é necessária a filtração com areia ou microtamisadores, seguido de processos de desinfecção por cloração (processo químico), radiação ultravioleta ou ozono (processos químicos). Caso se deseje um efluente com elevada qualidade para reutilização industrial, pode-se ainda aplicar processos adicionais nomeadamente a ultrafiltração, a osmose inversa e a nanofiltração.

De acordo com os requisitos estabelecidos para a qualidade do efluente a tratar na ETAR (função da sensibilidade do meio recetor e/ou da reutilização do efluente gerado), o processo de tratamento pode variar entre secundário, quando o efluente gerado é descarregado num meio menos sensível, e terciário/tratamento avançado, no caso de lançamento em meio hídrico sensível ou reutilização do efluente. Falta ainda referir que a matéria orgânica não biodegradável pode ser removida por adsorção por via da utilização de carvão ativado ou por via da oxidação com ozono ou outro forte oxidante. Existem diversas combinações de

processos de tratamento que podem ser implementadas e podem garantir a qualidade necessária para qualquer tipo de reutilização.

No esquema da Figura 3 apresentam-se duas combinações de uso frequente. Outras hipóteses constam na bibliografia (Metcalf & Eddy, 2004).

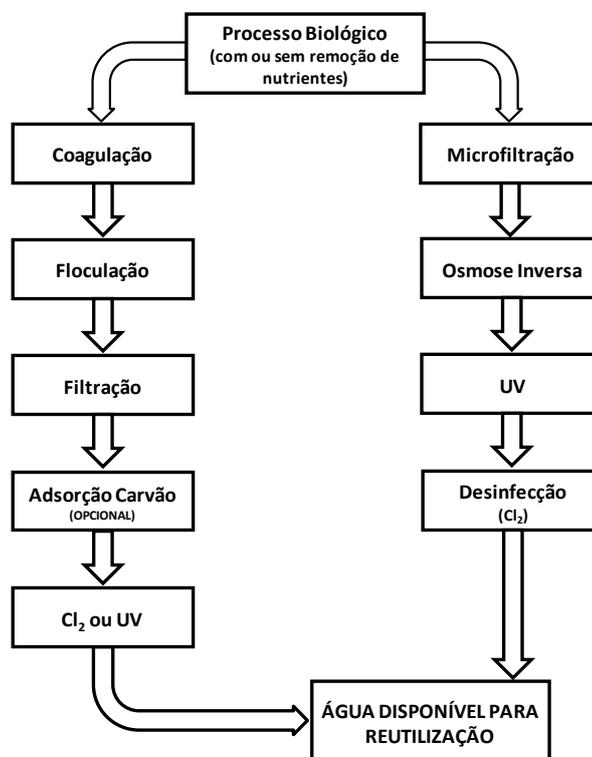


Figura 3 - Processos de tratamento avançados ou terciários.

Como indicado no esquema e referido anteriormente, as ETAR convencionais eliminam uma parte da matéria orgânica (50-60%), convertendo a restante parte num produto mais concentrado e com menor volume, definido como lama. Da sedimentação primária resulta uma lama putrescível que necessita de tratamento. No tratamento biológico a matéria orgânica não é completamente oxidada, sendo uma parte (40-50%) convertida em lamas biológicas, que contêm a maioria dos poluentes presentes no efluente. Todas as lamas devem ser tratadas e colocadas em destino final apropriado sendo necessário o seu tratamento.

Refere-se ainda que as ETAR reduzem a contaminação microbiana e também atuam sobre compostos tóxicos (metais pesados), mutagénicos ou cancerígenos, por meio de mecanismos indiretos (absorção, adsorção e oxidação, entre outros) removendo uma vasta gama de poluentes (Metcalf & Eddy, 2004).

Durante o processo de tratamento, são ainda formados outros tipos de resíduos. O material separado na gradagem segue para o sistema de recolha e tratamento do lixo, as areias podem ser lavadas e reutilizadas e as gorduras podem ser digeridas e transformadas em biogás (em aterro ou digestores apropriados).

Numa ETAR existem ainda frações gasosas, nomeadamente o biogás produzido no tratamento das lamas que, dado o seu poder calorífico, permite a sua valorização energética. Existem também odores e emissões no ar, que conduzem a potenciais problemas ambientais e

sanitários, pelo que necessitam de tratamento adequado, nomeadamente através de um processo de desodorização.

Assim uma estação de tratamento é dotada de três linhas de tratamento:

- a) *Linha líquida* (nível secundário ou terciário);
- b) *Linha de lamas* (depuração);
- c) *Linha de biogás e tratamento do ar*.

2.3. Operações e processos de tratamento de águas residuais

O tratamento de águas residuais é efetuado através de um conjunto de operações e processos, que são aplicados em função dos principais contaminantes, tendo em vista a redução e/ou eliminação dos poluentes existentes no esgoto. Na Tabela 2 são apresentadas as operações e processos usualmente aplicados no tratamento de águas residuais, sendo estes de tipo físico, químico e biológico. Na Tabela 3 descreve-se a eficiência de remoção de poluentes que é possível alcançar com os níveis de tratamento primário, secundário, terciário e avançado, na Tabela 4 são descritos os tratamentos biológicos mais utilizados, e na Tabela 5 os tipos de tratamentos terciários que podem ser aplicados.

Tabela 2 - Operações e processos usados para o tratamento do esgoto.

<i>Operações e Processos</i>	<i>Metodologia de Tratamento</i>	<i>Poluentes Removidos</i>
Operações físicas	- Gradagem - Crivagem - Filtração - Sedimentação - Flotação - Adsorção	Sólidos suspensos
Processos químicos	- Coagulação química - Floculação - Precipitação - Desinfecção	Sólidos suspensos coloidais
Processos biológicos e atividade biológica	- Oxidação aeróbia de lamas ativadas - Reator filme-fixo (filtros biológicos) - Discos biológicos rotativos - Sistemas de lagoas - Sistemas fito-naturais - Digestão (aeróbia e anaeróbia) - Filtração intermitente com areia - Sistemas físico-químicos	Compostos orgânicos biodegradáveis
Processos terciários	- Nitrificação/desnitrificação - Nitrificação e desinfecção (filme fixo) - Extração (<i>stripping</i>) do azoto amoniacal - Troca iónica - Cloragem - Sistemas fito-naturais - Lagoas de macrófitas	Nutrientes e azoto
	- Coagulação/Sedimentação - Remoção biológica - Sistemas naturais	Nutriente e fósforo
	- Filtração em areia - Microtamisadores - Coagulação precipitação	Remoção adicional de sólidos em suspensão

Tabela 2- Operações e processos usados para o tratamento do esgoto. (Continuação)

<i>Operações e Processos</i>	<i>Metodologia de Tratamento</i>	<i>Poluentes Removidos</i>
	- Desinfecção (p. ex. cloro e hipocloração) - Cloreto de bromo - Ozonização - Radiação ultravioleta - Sistemas naturais	Organismos patogênicos
	- Adsorção com carvão ativado - Ozonização - Processos por Membranas - Sistemas naturais	Compostos orgânicos refratários
	- Precipitação química - Permuta iônica - Sistemas naturais - Eletrodialise - Osmose inversa - Ultrafiltração - Nanofiltração	Sólidos orgânicos dissolvidos Metais pesados
Tratamento do ar	- Purificadores químicos - Adsorção com carbono - Biofiltros - Filtros de compostagem	Compostos orgânicos voláteis Odores

Tabela 3 - Eficiência de remoção de poluentes químicos - níveis de tratamento primário, secundário, terciário e avançado.

<i>Poluentes</i>	<i>Eficiência de Tratamento (%)</i>				
	<i>Primário</i>	<i>Secundário</i>	<i>Terciário</i>	<i>Avançado</i>	<i>Total</i>
CBO	19	74	5	N.A.	98
SST	40	55	4	N.A.	> 99
COT	21	64	8	7	> 99
ST	9	10	6	72	96
Turvação	12	74	14	0	> 99
N-NH ₄	5	52	1	39	97
P-PO _i	16	28	54	0	98
Arsênio	3	19	30	30	82
Boro	0	0	13	3	16
Cádmio	17	0	67	0	84
Cálcio	3	7	0	88	98
Cloretos	3	0	0	90	93
Crômio	0	32	24	26	82
Prata	0	75	0	0	75
Sulfatos	9	0	0	91	> 99
Zinco	6	64	27	0	97
Sódio	3	0	0	91	94
Ferro	11	59	22	2	94
Chumbo	0	0	93	0	93
Magnésio	1	0	82	13	96
Manganês	4	37	57	0	98
Mercúrio	33	33	0	0	66
Níquel	0	33	11	45	89
Cobre	0	33	52	0	85
Selênio	0	16	0	64	80

N.A. – Não Aplicável

Tabela 4 - Tratamentos biológicos mais utilizados e respetivas vantagens e desvantagens.

<i>Tipo de Tratamento</i>	<i>Descrição/Metodologia</i>	<i>Vantagens</i>	<i>Desvantagens</i>
Lamas ativadas	Tratamento com base em microrganismos que se encontram suspensos em meio líquido, no interior do reator e com arejamento adequado. No final do processo é necessário proceder à decantação para separação das lamas e do efluente tratado. Recirculação de lamas no reator	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência de remoção - Sistema compacto - Elevada capacidade de tratamento de efluente 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado consumo de energia - Elevada produção de lamas - Manutenção significativa - Difícil operação
Leitos percoladores	Sistema onde o efluente é regado uniformemente sobre um suporte contendo um biofilme (formado por bactérias, protozoários e fungos). A ação microbiana permite que os compostos orgânicos sejam transportados através do biofilme de modo a serem degradados. Com o decorrer da degradação, verifica-se o aumento do biofilme e quando atingidas as condições de limite de oxigénio e nutrientes, dá-se a sua desagregação (levando a que este seja removido do efluente final por um clarificador)	<ul style="list-style-type: none"> - Resistente à corrosão - Menores custos de operação energéticos (quando comparado com as lamas ativadas) - Boa capacidade para lidar com grandes variações no caudal - Sistema mais simples 	<ul style="list-style-type: none"> - Pouca resistência a efluentes com características tóxicas ou ácidas - Capacidade de operação reduzida (suscetível de ocorrência de entupimentos no sistema de distribuição) - Formação de cheiros ou odores desagradáveis - Elevada manutenção - Sistema que apresenta dificuldades no arranque
Lagunagem	Sistema formado por um conjunto de lagoas anaeróbias facultativas e de maturação, que apresentam características de tratamento diferenciados para tratamento do efluente. Apesar de serem pouco utilizadas a nível nacional, verificam-se algumas utilizações no tratamento de efluentes provenientes da produção animal	<ul style="list-style-type: none"> - Reduzido custo de construção, operação e manutenção - Redução significativa de níveis de agentes patogénicos (muito eficientes) - Elevada capacidade de tratamento de efluentes com grandes concentrações de metais pesados - Grande capacidade para absorver variações hidráulicas 	<ul style="list-style-type: none"> -Requerem grandes áreas para operação -Incapacidade de contenção de odores e proliferação de insetos (p. ex. mosquitos) -Grandes concentrações de sólidos suspensos (algas) no efluente final
Biodiscos	Sistema formado por uma série de discos rotativos, na superfície dos quais se forma um biofilme. Os discos estão dispostos num veio que, devido à sua rotação, permite que a biomassa entre em contacto (alternadamente) com a matéria orgânica presente no efluente e com o ar ambiente. A rotação do veio serve igualmente de sistema de corte permitindo assim a remoção do excesso de sólidos no disco. Estes são posteriormente encaminhados para tratamento num clarificador	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada eficiência no tratamento (quando comparado com outros sistemas de leito fixo) -Sistema compacto, de operação e manutenção simplificada 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema sensível a sobrecargas de material orgânico - Sistema suscetível a avarias no veio de rotação - Sistema influenciado pela temperatura ambiente - Sistema mais vocacionado para tratamento de efluentes provenientes de pequenas populações

Tabela 5 - Tratamentos terciários.

<i>Tipo de Tratamento</i>	<i>Tratamento Terciário</i>	<i>Descrição</i>
Físico-químicos	Adsorção	Processo de acumulação de uma substância em interface líquido/sólido e que permite remover contaminantes orgânicos específicos (p. ex. hidrocarbonetos, clorobenzenos, cloetanos, fenóis, entre outros). O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados.
	Filtração (areia e carvão)	Processo que consiste na filtração do efluente de modo a garantir a remoção de partículas que não tenham sido removidas nos processos anteriores. A elevada eficiência do sistema deve-se essencialmente ao carvão que apresenta uma porosidade elevada.
	Desinfecção	Processo que permite remover a fração de microrganismos patogénicos (que ainda possam existir no efluente) por diferentes vias (p. ex. radiação ultravioleta, ozono e químicos).
	Permuta iónica	Processo que permite a remoção e recuperação de metais e remoção de nutrientes através da troca iónica entre os dois meios (solução e o efluente). O permutador iónico é formado por um recipiente onde se encontra um leito composto por uma resina que pode ser lavada e regenerada.
	Oxidação avançada	Processo que envolve a conversão (oxidação) de diferentes poluentes orgânicos (p. ex. ácidos, álcoois, compostos aromáticos, aminas, éteres, cetonas, corantes, e vários compostos inorgânicos) e água com recurso a agentes oxidantes (reagentes).
	Osmose inversa	Processo de elevado nível de eficiência na remoção de diferentes produtos que não foram retirados ou eliminados nos níveis de tratamento anteriores (p. ex. matéria orgânica residual, metais pesados, sais em solução e ainda microrganismos). A osmose inversa baseia-se no princípio do gradiente de concentração através da permeabilidade do sistema a determinados elementos e/ou compostos existentes em soluções mais concentradas para soluções menos concentradas.
Biológicos	Nitrificação e desnitrificação	Processo que permite a remoção do azoto em excesso no efluente reduzindo-o a azoto molecular (N ₂).
	Lagoas de maturação	As lagoas de maturação são utilizadas nos sistemas de tratamento por lagunagem tendo em vista maioritariamente a remoção de agentes patogénicos, recorrendo à ação da radiação solar (radiação ultravioleta). Um dos aspetos preponderantes para uma boa eficiência deste sistema é a profundidade das lagoas que deve ser reduzida.

2.4. Grau de tratamento das águas residuais - Enquadramento legislativo

A Diretiva 91/271/CEE da União Europeia (EU) relativa ao tratamento de águas residuais urbanas estabelece os requisitos de qualidade que têm de ser cumpridos para descargas em meios recetores normais e em zonas sensíveis e sujeitas a eutrofização.

Esta diretiva especifica as concentrações máximas a alcançar, o grau mínimo de remoção de fósforo total (80%) e azoto total (70 a 80%), promove a reutilização de águas residuais tratadas “sempre que adequado” e a irrigação agrícola, salvaguardando a possibilidade de efeitos adversos nas matrizes ambientais (p. ex. solo, águas subterrâneas, águas superficiais e ecossistemas dependentes, e outras culturas a serem irrigadas).

A legislação ambiental existente é muito abrangente, sendo numerosos tanto os diplomas legais como as diretivas da UE relacionadas com a proteção do ambiente. Este enquadramento legislativo é muito abrangente e permite regular qualquer tipo de situação. Os principais diplomas a considerar são:

- Diretiva 2000/60/CE - Diretiva-quadro água (DQA);
- Diretiva 2013/39/EU - relativa às normas de qualidade ambiental (EQSD);
- Diretiva 2014/80/EE - relativa às águas subterrâneas (GWD);
- Diretiva 91/271/CEE - relativa ao tratamento de águas residuais urbanas (UWWTD);
- Diretiva 91/676/CEE - Diretiva dos nitratos.

2.5. Tratamento das lamas

As lamas são um produto inevitável gerado em quantidades significativas pelas ETAR, podendo constituir um problema no que diz respeito ao seu destino final. A sua proveniência resulta essencialmente da acumulação sucessiva de produtos em suspensão na água residual do efluente bem como de outras fases resultantes do processo de transformação (p. ex. ação microbiana).

Nas estações de tratamento convencionais, as lamas resultam não só das operações de decantação primária, mas também dos processos de tratamento subsequentes (p. ex. secundário e terciário). No decorrer dos processos de tratamento, as lamas podem ser obtidas de forma mista (são misturadas lamas primárias com lamas secundárias no decantador primário) ou, em alternativa, separadas em decantadores distintos para posterior mistura e processamento.

A origem das lamas, de acordo com os níveis de tratamento, pode ser classificada como sendo:

- a) *Lamas primárias* - são geradas nos decantadores primários onde ocorre a primeira sedimentação dos efluentes recebidos;
- b) *Lamas secundárias* - são geradas em tanques de aeração e decantadores secundários podendo estas ainda dividirem-se em digeridas (resultado da digestão anaeróbia ou aeróbia, caracterizando-se por conterem grandes quantidades de azoto na forma de NH_4^+) ou não digeridas (caracterizando-se por apresentarem uma menor razão de C/N e, ainda, por conterem azoto na forma orgânica);
- c) *Lamas terciárias* - são geradas no tratamento terciário e resultam da remoção de poluentes específicos que não foram removidos por via do tratamento secundário.

As lamas das ETAR apresentam uma composição que varia consoante as características das águas residuais e com o tipo de tratamento aplicado. Caracterizam-se essencialmente por apresentarem um elevado teor de humidade, de matéria orgânica, diferentes tipos de nutrientes (azoto, fosforo e potássio, entre outros), micropoluentes inorgânicos (metais pesados) e ainda microrganismos patogénicos, metais pesados, bem como outros contaminantes (p. ex. hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenóis policlorados, compostos orgânicos halogenados, dioxinas e furanos). As lamas provenientes dos tratamentos secundários caracterizam-se por conterem elevados níveis de proteínas e nutrientes, enquanto que as lamas provenientes dos tratamentos denominados de terciário ou avançado são geralmente produzidas em pequenas quantidades, excetuando nos tratamentos que recorrem à precipitação química para remoção do fósforo.

As lamas recolhidas nos decantadores são putrescíveis e produzem odores desagradáveis, sendo necessário proceder à sua estabilização para posterior encaminhamento (destino final apropriado), utilizando um sistema de tratamento específico denominado de linha de tratamento das lamas.

As principais técnicas utilizadas no tratamento das lamas tendo em vista a sua adequada utilização são: espessamento, digestão anaeróbia, desidratação, estabilização química, compostagem, secagem térmica, incineração e imobilização.

a) *Espessamento*

Na fase inicial do tratamento e como primeiro passo, as lamas são enviadas para o espessamento (ou concentração), que efetuam a remoção de uma parte do líquido presente e conduz a uma redução significativa do volume e a um aumento densidade (lamas mais espessas). Mesmo assim, as lamas espessadas ainda contêm um elevado teor de humidade e são putrescíveis. Nesta operação utilizam-se diferentes sistemas nomeadamente tanques que funcionam por ação da gravidade, sistemas de flotação, centrifugação e prensas. As lamas espessadas são posteriormente encaminhadas aos subseqüentes processos de tratamento (p. ex. digestão e desidratação). A diminuição do volume de lamas permite uma redução da dimensão dos órgãos de tratamento que ficam a jusante e, também, à redução das necessidades térmicas, no caso de se aplicar o processo biológico de digestão anaeróbia (temperatura mesofílica de 35 °C ou termofílica de 55 °C). Os líquidos separados durante o espessamento são conduzidos para a linha de tratamento do esgoto.

O espessamento das lamas secundárias por flotação permite substituir o decantador secundário e o espessador gravítico. A lama flotada pode atingir uma concentração de 7% (m/m), sendo uma solução muito eficaz, embora use coagulantes. Esta opção aplica-se principalmente em ETAR que recebam efluentes industriais e que apresentem dificuldades em conseguir uma boa sedimentação das lamas.

O espessamento por centrifugação, quando é aplicado às lamas ativadas, é efetuado sem adição de polímeros, e permite atingir valores de sólidos totais na ordem dos 3% (m/m). Estão disponíveis outros equipamentos no mercado que podem ser implementados para efetuar o espessamento, tais como o filtro de banda, as prensas com tambor rotativo e as mesas espessadoras, que podem funcionar com ou sem a adição de polímeros.

b) *Condicionamento químico e desidratação*

Esta operação, à semelhança do espessamento, tem unicamente como objetivo reduzir o teor de humidade de modo a favorecer as operações de armazenamento e transporte. Pode ser efetuado às lamas previamente digeridas ou às lamas brutas provenientes dos decantadores ou espessadas. Nesta última opção produzem-se mais cheiros e o destino final fica limitado ao aterro sanitário ou a incineração, devido à lama desidratada não se encontrar estabilizada.

Para efetuar a desidratação das lamas nas estações de tratamento de média e grande dimensão adicionam-se coagulantes e utilizam-se processos mecânicos (p. ex. centrifugadoras, filtros banda e filtros prensa), que permitem remover rapidamente a água presente nos interstícios. Os reagentes mais utilizados são de origem inorgânica, nomeadamente cloreto de alumínio (AlCl_3), sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico (FeCl_3) ou cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e, ainda, polímeros orgânicos catiónicos (e cal). Estes reagentes podem proporcionar um nível de matéria seca de 20 a 30% (m/m), sendo o FeCl_3 o mais utilizado sobretudo em lamas orgânicas provenientes de tratamentos biológicos.

Posteriormente ao seu tratamento, as lamas são normalmente armazenadas em silos ou contentores, onde permanecem até serem transportadas para destino final. No contexto atual, a deposição em aterro de lamas encontra fortes restringimentos, tornando-se cada vez mais importante inserir um tratamento de estabilização, por forma a permitir não só a sua valorização energética como também a garantir um produto armazenável (sem odor), de

granulometria homogénea, possivelmente higienizado e de composição adequada quando se perspetiva a sua utilização no sector agrícola (presença de nutrientes essenciais como o azoto, fósforo e potássio).

Segue-se a estabilização (redução do poder de fermentação) e a desidratação. De acordo com o destino final disponível (p. ex. fertilização dos solos, incineração e aterro, entre outros), as lamas são submetidas a um processo de higienização, por adição de cal, por ação térmica ou ainda por compostagem após mistura com outros resíduos.

c) Estabilização biológica (em condições aeróbias ou anaeróbias)

As lamas separadas nos decantadores são putrescíveis e produzem odores desagradáveis, sendo importante proceder à sua estabilização. Esta operação pode ser efetuada por via biológica, química ou térmica ou, ainda, por uma combinação delas.

A estabilização por via biológica é a solução mais usada e baseia-se na digestão anaeróbia, que degrada as macromoléculas orgânicas dos sólidos voláteis (na ausência de oxigénio), convertendo-as em biogás que pode ser convertido em calor e eletricidade (cogeração), produzindo uma reduzida quantidade de lamas biológicas, normalmente num estado digerido ou estabilizado e, conseqüentemente, muito menos poluente que o material inicial. Este processo bioquímico, que pode ser aplicado à estabilização de diversos materiais orgânicos, ocorre em três estágios sequenciais:

Fase hidrolítica - 1º estágio de tratamento onde ocorre a hidrólise das moléculas orgânicas complexas (proteínas, hidratos de carbono, celulose e lípidos) que pela ação de enzimas extracelulares, permite degradar estas estruturas em formas solúveis, ácidos gordos orgânicos, álcoois, CO₂ e amónia;

Fase acidogénica - 2º estágio de tratamento onde as bactérias acidogéneas transformam os compostos anteriormente referidos em ácido acético, ácido propiónico, hidrogénio, CO₂, sulfureto de hidrogénio bem como em outros compostos de menor massa molecular;

Fase metanogénica - 3º estágio de tratamento onde a ação das bactérias metanogéneas permite a conversão dos compostos obtidos na fase acidogénica em CO₂ e CH₄. Este biogás de natureza combustível pode ser valorizado energeticamente.

A estabilização biológica permite remover 35 a 50% dos compostos orgânicos voláteis, dando origem a um produto final que não origina cheiros, contem menor número de agentes patogénicos e possui, ainda, propriedades adequadas à utilização agrícola (fertilizante).

A estabilização anaeróbia efetua-se em tanques fechados que garantem a ausência de oxigénio (digestores), através de microrganismos anaeróbios (nas condições mesofílica e termofílica). A digestão anaeróbica termofílica permite reduzir o tempo de retenção em 40% (10 dias) quando comparado com a digestão anaeróbica mesofílica (25 dias), permitindo ainda uma maior taxa de degradação da matéria orgânica e uma produção superior de biogás (20%). Este processo é muito usado em efluentes industriais alimentares bem como na fração orgânica do lixo, sendo de aplicação reduzida na degradação das lamas domésticas, devido ao baixo teor de matéria seca. O biogás produzido é frequentemente utilizado para produção de energia elétrica e calor em sistemas de cogeração, sendo este último utilizado no aquecimento do digestor. Nos digestores que tratam os resíduos agrícolas e agroindustriais concentrados, o excedente de energia térmica produzido é utilizado para a higienização térmica dos resíduos.

Já no caso das lamas de depuração, a concentração em matéria orgânica não permite a produção de excedentes de calor que sejam suficientes para a sua higienização. Em sistemas de grande dimensão o suporte da energia solar térmica associada à produção de calor proveniente da cogeração poderá ser uma opção a considerar. Em relação aos países de clima quente ou temperado, os digestores em pequena escala funcionam sem aquecimento.

A estabilização biológica pode ser efetuada também por via aeróbia, sendo utilizado oxigénio para oxidar completamente a matéria orgânica. Este processo usa microrganismos aeróbios que decompõem facilmente a fração biodegradável da matéria orgânica. Apesar de esta tecnologia ser mais fácil de gerir e controlar que o processo anaeróbio, comporta um elevado consumo de energia no arejamento, pelo que é mais usada em pequena escala (p. ex. processos denominados de contacto/estabilização e arejamento prolongado e em sistemas de funcionamento sazonal).

O líquido proveniente da digestão é separado e encaminhado para a linha de tratamento do esgoto, para posterior tratamento. A fração sólida é submetida a condicionamento químico ou térmico e, geralmente, desidratada por meio de centrifugação, filtros de banda e outros dispositivos apropriados e disponíveis no mercado.

d) Estabilização por via química

Na estabilização das lamas por via química, o aumento do pH para valores superiores a 12, durante períodos superiores a 24h, e em condições específicas que incluem a adição de reagentes alcalinos (p. ex. hidróxido de cálcio), o aumento da temperatura para valores superiores a 60 °C e a presença de óxido de cálcio, permitem a inibição e inativação (higienização) dos microrganismos existentes e a conseqüente redução de odores desagradáveis. A utilização de cal não conduz diretamente a uma redução relevante da matéria orgânica, mas é aplicada principalmente para impedir a atividade biológica e eliminar os microrganismos patogénicos (desinfecção). Esta operação consegue normalmente a higienização das lamas e alcançar os requisitos mínimos impostos legalmente para a sua valorização em terrenos ácidos. A utilização da cal favorece ainda a secagem das lamas através de reações exotérmicas resultantes da fixação de uma molécula de água por cada molécula de CaO.

Em Portugal esta solução é frequentemente utilizada em lamas digeridas e desidratadas, provenientes das estações de tratamento de média e grande dimensão, bem como na sua higienização para posterior aplicação em solos ácidos. No entanto, a estabilização das lamas por via química é pouco utilizada em lamas não digeridas, devido não só às elevadas cargas de reagentes utilizados bem como devido à maior produção de emissões gasosas poluentes.

e) Compostagem

Este processo de decomposição aeróbia de materiais orgânicos permite, através da intervenção de microrganismos em ambiente controlado, transformar a matéria orgânica em húmus, reduzir entre 40 a 60% a matéria volátil das lamas de depuração, diminuir o seu teor de humidade por via da evaporação e ventilação e, ainda, assegurar a higienização completa das lamas (eliminação de agentes patogénicos) que são convertidas num composto orgânico. A compostagem é realizada com a mistura de outras matérias que fornecem o suporte estrutural, criando espaços vazios e permitindo trocas gasosas. Ao juntar outras matérias, o teor em metais pesados das lamas baixa, permitindo cumprir com os requisitos legais para aplicação no solo. O sucesso da compostagem está associado à qualidade do produto final, determinada pela sua estabilidade e maturidade. Estes fatores podem posteriormente alargar ou limitar as

suas aplicações. As lamas são ricas em matéria orgânica e nutrientes (p. ex. azoto e fósforo), que potenciam a aplicação deste tipo de resíduos como fertilizantes ou, em alternativa, como um meio corretivo de solos deficitários ou sujeitos a erosão. Os nutrientes existentes nas lamas são elementos fundamentais para o crescimento das plantas sendo por si só essenciais para garantir a cadeia de abastecimento alimentar.

A compostagem das lamas requer a adição de resíduos florestais e cascas que formam uma matriz sólida. Esta solução tem sido operada com sucesso na ETAR da Maia (Portugal), há mais de 20 anos, tendo o produto obtido uma qualidade certificada.

f) *Estabilização por via térmica*

O condicionamento térmico permite a estabilização através da ação do calor que atua como coagulante da fração sólida (aumento da massa volúmica) e diminui a afinidade com a água, resultando numa estrutura gelatinosa alterada irreversivelmente. A gama de temperaturas em que o processo ocorre varia entre os 150 °C e os 200 °C, por períodos de 30 a 60 minutos e em ambiente pressurizado. Este processo tende a ser mais eficiente quanto maior for o teor de matéria orgânica e coloidal, e apresenta como resultado final a produção de uma lama esterilizada e praticamente sem cheiro, sendo esta facilmente desidratável em filtros de prensa ou filtros de vácuo. Este tipo de condicionamento é recomendado para lamas biológicas ou estabilizadas por via química, sendo igualmente útil à sua utilização antes da digestão anaeróbia pois permite solubilizar ou hidrolisar cerca de 20 a 40% da matéria orgânica. A taxa de solubilização ou hidrolisação são dependentes das condições de operação (tempo e temperatura de aquecimento). Neste tipo de aplicação, forma-se uma fase líquida intersticial onde se verifica a precipitação simultânea de parte das substâncias em solução (com exceção dos metais pesados) e do azoto orgânico presente (amonificação).

g) *Secagem térmica*

Processo que visa reduzir o teor em humidade (evaporação da água) das lamas por ação do calor. Acresce que a secagem térmica pode ainda ser utilizada tendo em vista o aumento do poder calorífico das lamas antes de estas serem submetidas a outros processos subsequentes (p. ex. oxidação térmica e peletização para uso agrícola) e, ainda, reduzir custos de transporte. Os valores obtidos referentes à redução do teor em humidade podem atingir os 90% (m/m), facto esse que permite a obtenção de um produto com cerca de 75 a 95% de matéria seca e de textura geralmente granular. Este processo tem ainda a vantagem de permitir estabilizar e higienizar as lamas facilitando assim a sua valorização orgânica ou a incineração.

h) *Incineração*

Processo que visa a queima dos componentes orgânicos combustíveis das lamas para que os produtos resultantes (gases e cinzas). Complementarmente, este processo permite ainda reduções de 95% (em volume e massa) das lamas bem como a destruição completa de compostos tóxicos e agentes patogénicos. A incineração das lamas poderá ainda ser efetuada através do aproveitamento do seu poder calorífico, em equipamentos específicos para o efeito e com (ou sem) prévia secagem térmica.

i) *Imobilização*

Este tratamento é obrigatório para lamas contaminadas com substâncias perigosas e que tenham como destino final a deposição em aterro. Atualmente existem produtos que permitem reduzir a “mobilidade” dos contaminantes nas lamas, nomeadamente o CaO, misturas de

materiais com base de cinzas de carvão e corretor de pH e, ainda, outras misturas à base de cortiça, cal e elementos aglutinantes (cimento e/ou gesso) com corretor de pH.

Na Tabela 6 são apresentados alguns processos termoquímicos bem como uma descrição genérica das principais características, condições de operação e produtos obtidos

Tabela 6 - Processos termoquímicos.

<i>Tipo de processo</i>	<i>Descrição</i>
Incineração e combustão	Processo de degradação exotérmica, em meio reacional com excesso de oxigênio estequiométrico, que visa a eliminação do resíduo <i>in situ</i> (produto final inertizado). Como consequência da combustão, obtém-se um gás contendo CO ₂ , H ₂ O, O ₂ e N ₂ , bem como outros compostos que são maioritariamente dependentes das condições de combustão e das características do resíduo. A composição do resíduo pode ser uma das principais desvantagens desta solução devido à emissão de poluentes gasosos para atmosfera (p. ex. SO ₂ , óxidos de azoto, dioxinas e furanos), metais pesados e partículas. A tecnologia de combustão (atualmente em leito fluidizado) apresenta algumas vantagens quando comparada com outros sistemas de combustão nomeadamente: i) utilização de temperaturas mais baixas, ii) a quantidade de material no leito inerte reduz os gradientes de temperatura no reator e iii) possível redução de custos de operação.
Pirólise	Processo de conversão térmico de perfil endotérmico que ocorre a temperaturas entre 300 °C e 900 °C (em meio reacional controlado) na ausência de oxigênio. A natureza e a composição dos produtos finais dependem das propriedades das lamas tratadas e das condições de operação do reator. Este processo permite a obtenção de três frações, em proporções variáveis, nomeadamente um sólido (resíduo carbonáceo que contém também material inerte presente nas lamas), um bio-óleo (29 a 38 MJ/kg) contendo, entre outros, ácido acético, acetona, metanol e hidrocarbonetos oxigenados complexos e um gás combustível (3.8 a 20.9 MJ/Nm ³) maioritariamente formado por H ₂ , CH ₄ e CO ₂ .
Gaseificação	Processo endotérmico/exotérmico que ocorre a temperaturas entre 900 e 1100°C (oxigênio) e entre 1000 e 1400°C (ar), cuja conversão térmica ocorre em deficiência de oxigênio (em relação ao valor estequiométrico para uma combustão completa) e meio reacional de atmosfera controlada. Neste processo obtém-se essencialmente uma fração gasosa combustível (4 a 10MJ/Nm ³) formada maioritariamente por CO, CO ₂ , H ₂ e CH ₄ , H ₂ O e pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos.
Misto	Processo que combina dois ou mais tratamentos térmicos anteriormente descritos.

2.6. Tratamento das lamas em ETAR de pequena dimensão: desidratação/secagem e leitos de macrófitas

Nas estações de tratamento de pequena dimensão utilizam-se técnicas naturais de desidratação simples, envolvendo processos de evaporação natural e percolação em leitos de secagem ou lagoas de lamas.

A implementação de leitos de macrófitas (Figura 4) permite melhorar a gestão de lamas desidratadas numa ETAR, tendo como aspeto a considerar a área disponível para o efeito. A desidratação das lamas ocorre por percolação da água através das camadas superiores de lama e do meio filtrante, sendo acelerada pela evapotranspiração e pela evaporação a partir da superfície das lamas. A oscilação dos caules, por ação do vento, e um sistema de fixação constituído por rizomas facilitam a abertura de pequenos canais de drenagem através do leito de lamas. A água recolhida no fundo dos leitos é reconduzida novamente à ETAR.

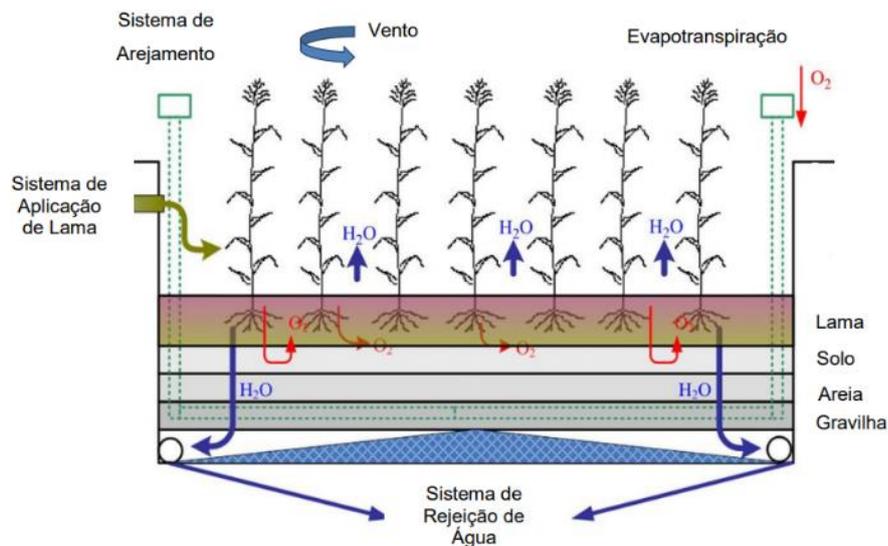


Figura 4 - Configuração de um sistema de leitos macrófitas para desidratação de lamas (Melidis et al., 2010).

O reduzido fornecimento de oxigênio que atravessa as lamas, quer através das plantas e suas raízes, quer por difusão através da interface ar-lama, vai oxidando gradualmente as lamas. Como resultado, verifica-se uma redução dos sólidos voláteis e um aumento da formação de sólidos fixos obtendo-se como produto final uma lama desidratada com características diferentes da inicial (teor de sólidos totais pode atingir cerca de 50% do valor inicial).

No leito de macrófitas, os poluentes são removidos através de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos que incluem a precipitação, a sedimentação, a adsorção às partículas do solo, a assimilação por parte da planta e as transformações microbianas. A degradação da matéria orgânica é afetada pelas condições aeróbias ou anaeróbias do leito de macrófitas. Se a taxa de transferência de oxigênio é alta e permite superar a carência de oxigênio exercida pela carga de matéria orgânica, irão prevalecer as condições aeróbias, contribuindo para uma degradação da matéria orgânica nos leitos.

Em leitos com bons sistemas de drenagem, a maior parte dos poros estão preenchidos com gás e interconectados com a atmosfera permitindo, desta forma, uma rápida difusão do oxigênio através das raízes e rizomas. No entanto, o teor de oxigênio tende a diminuir com o aumento da profundidade. Uma diminuição na concentração de oxigênio nos leitos pode impossibilitar a respiração aeróbia ao nível das raízes, afetando a disponibilidade de nutrientes, bem como, a formação de compostos odoríferos nos leitos, resultante da degradação anaeróbia.

2.7. Gestão das lamas e enquadramento legislativo

O destino final a dar às lamas depende de vários fatores, muitos deles já devidamente enquadrados do ponto de vista legislativo. Assim, poder-se-ão apresentar como referência diferentes soluções das quais se pode destacar: i) valorização agrícola e recuperação de solos e florestas; ii) recobrimento de aterros sanitários e selagem de lixeiras (recuperação paisagística); iii) construção civil (fábricas de tijolos), indústria e estradas (recuperação e sementeira de taludes e áreas verdes); iv) co-incineração e co-compostagem com resíduos sólidos urbanos (RSU). Outros destinos finais disponíveis para as lamas provenientes das ETAR são atualmente a incineração e os tratamentos termoquímicos.

O lançamento no oceano foi banido nos anos 60, por ser uma prática reconhecidamente deletéria ao ambiente marinho. A deposição em aterro encontra-se em fase de restrição progressiva pela legislação comunitária e nacional.

Apesar de as lamas de depuração conterem nutrientes em quantidades reduzidas, estes são considerados como sendo potencialmente úteis para fertilização dos solos, no aumento da produção agrícola e melhoria de algumas propriedades físicas e químicas dos solos (p. ex. estrutura, humidade e porosidade). A estes benefícios, acresce a possibilidade de fornecer nutrientes para as plantas, aumentar o teor de húmus e a capacidade de troca catiónica, bem como promover a atividade biológica. Para este tipo de aplicação é particularmente significativa a necessidade de as lamas de depuração serem higienizadas de forma a reduzir os agentes patogénicos, bem como estabilizadas para eliminar posteriores problemas de produção de odores desagradáveis.

A incineração é uma solução viável e utilizada em grande escala. A co-incineração das lamas na indústria cimenteira com outro tipo de resíduos é uma solução muito favorável, embora seja imperativo que estas apresentem um teor de humidade bastante reduzido (10%) e, por conseguinte, necessitam de ser submetidas a uma secagem prévia.

Atualmente são propostas novas tecnologias baseadas em processos termoquímicos (p. ex. carbonização, pirólise e gasificação) que permitem a obtenção de um produto final com características de combustível. No entanto exigem um baixo teor de humidade, valor esse dificilmente alcançável com as técnicas de desidratação convencionais aplicadas às lamas. Esta situação é particularmente favorável à adoção de tecnologias que utilizem o Sol como recurso renovável (p. ex. secagem solar com sistemas de concentração solar térmica).

A aplicação agrícola de resíduos orgânicos, agroindustriais, lamas urbanas, resíduos sólidos urbanos, lamas celulósicas ou outros produtos resultantes da compostagem, constitui a forma mais usual de valorização sendo igualmente mais favorável do ponto de vista ambiental, uma vez que permite aproveitar o seu potencial fertilizante.

O encaminhamento das lamas para destino final encontra-se regulamentado e deve respeitar a legislação em vigor, havendo um enquadramento legal apropriado.

A valorização agrícola de lamas submete-se ao Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro, transpondo para a ordem jurídica interna, a Diretiva n.º 86/278/CEE, que visa a proteção do ambiente e, em especial, a proteção dos solos agrícolas, definindo as condições para a correta aplicação de lamas de ETAR. Os princípios fundamentais assentam na proteção do ambiente e da saúde pública.

Esta diretiva define igualmente um conjunto de restrições à utilização das lamas no solo, prevê procedimentos específicos de aplicação das lamas, o tipo de tratamento e os locais onde estas podem ser utilizadas, bem como especifica as regras para a amostragem e análise de lamas e solos, da composição e suas propriedades e, ainda, os requisitos (deveres) de registo das quantidades produzidas e utilizadas na agricultura, e a informação por parte dos operadores de gestão de lamas.

Os valores-limite para as concentrações de metais pesados nas lamas de depuração destinadas a uso agrícola e solos tratados estão definidos nos Anexos IA, IB e IC da respetiva diretiva e calculados com base numa média de 10 anos consecutivos. Atualmente a diretiva de lamas está sob um processo de revisão e qualquer atualização deve ser considerada em

conformidade. De acordo com as condições referidas poder-se-ão destacar os seguintes requisitos:

- a) O processo de licenciamento assenta num Plano de Gestão de Lamas (PGL) e gerido por um Técnico Responsável Acreditado que se responsabiliza pelos trabalhos efetuados e assegura a correta execução do PGL;
- b) Deve proceder-se à definição de condições referentes à aplicação das lamas nos solos, assentes em determinações realizadas às lamas e aos solos que observem os limites máximos de compostos orgânicos, da contaminação microbiológica e dos metais pesados;
- c) A definição das condições de espalhamento e incorporação das lamas nos solos, em períodos de 24 ou 48 horas e em função da matéria seca;
- d) A apresentação de uma Declaração do Planeamento das Operações (DPO) definindo as parcelas que irão ser sujeitas à utilização e relativa a uma exploração agrícola reportada a cada ano civil.

2.8. A importância na implementação de processos de desidratação/secagem de lamas e os possíveis destinos

Embora as lamas representem apenas 1 a 3% do volume de água residual tratada, a sua gestão é muito complexa, representando um custo variável entre 20% e 60% dos custos totais de gestão da estação de tratamento de águas residuais (Andreoli et al., 2007).

Tendo em conta as crescentes exigências não só do ponto de vista social como também ambiental, é espectável um aumento dos índices do tratamento das águas residuais e, conseqüentemente, um aumento da quantidade de lamas produzidas, sendo a sua gestão um fator fundamental para o sucesso do sistema de saneamento.

Para o tratamento de lamas em sistemas de pequena/média escala verifica-se uma tendência crescente para a utilização de tecnologias que sejam cada vez mais eficazes na estabilização e na remoção de microrganismos patogénicos, produzindo assim lamas que apresentam melhores características para aplicação agrícola.

O circuito da gestão de lamas é complexo e envolve várias componentes nomeadamente técnicas, operacionais, organizacionais e estratégicas. O mercado apresenta diversas soluções tecnológicas possíveis de implementação, que podem influenciar positivamente a gestão das lamas. Atualmente existem mecanismos de financiamento que visam a comparticipação de investimento em sistemas de tratamento de lamas, sendo o acesso a estes fundos da competência das empresas.

O destino final a dar às lamas pode ocorrer por diferentes formas, podendo passar pela incineração, valorização por compostagem ou valorização agrícola. Em todos estes métodos a secagem adicional das lamas é muitas vezes uma necessidade, traduzindo-se nos seguintes efeitos benéficos:

- a) Redução do teor de água e, conseqüentemente, a massa e volume de lama, reduzindo custos no transporte, operação e armazenamento;
- b) Redução do impacte ambiental decorrente da diminuição do consumo de combustível no transporte devido à menor quantidade;
- c) Reduzir a carga de microrganismos patogénicos e estabilização das lamas (fermentações indesejadas);

- d) Aumento do poder calorífico e, conseqüentemente, potenciar a sua utilização como fonte de combustível (p. ex. incineração, coincineração ou valorização termoquímica).

A secagem solar é potencialmente uma opção vantajosa quando comparada com os sistemas de secagem convencionais dado que utiliza uma energia renovável, sendo esta opção particularmente interessante em países com elevada exposição solar tal como Portugal ou Espanha.

2.9. Tratamentos térmicos na depuração das águas residuais - secagem de lamas

2.9.1. Secagem térmica

No esquema da Figura 5 são definidas as principais etapas a realizar num sistema de secagem de lamas. A secagem térmica das lamas de esgoto consiste basicamente na redução do teor de humidade, por via da evaporação da água intersticial, permitindo assim reduzir o volume e a massa de lama e assegurar a sua desinfeção (para teores de matéria seca superiores a 90%). Acresce que a secagem térmica permite aumentar o poder calorífico da lama facilitando a sua aplicação em subseqüentes tratamentos finais, nomeadamente em processo de oxidação térmica ou técnicas de peletização (espalhamento agrícola).

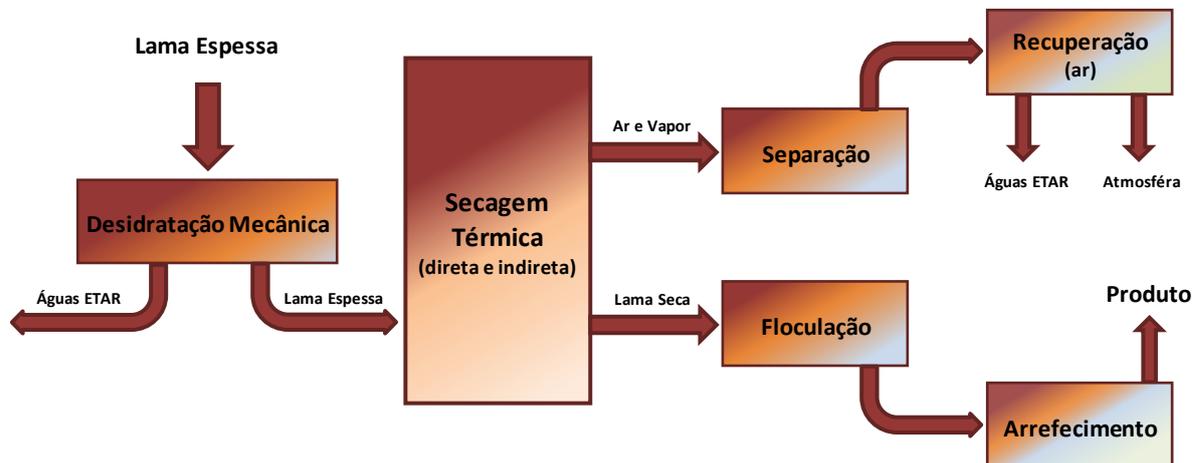


Figura 5 - Diagrama de fluxo geral para um processo de secagem térmica.

2.9.2. Objetivos do processo de secagem

A transmissão da quantidade de calor necessária para atingir a referida evaporação é normalmente realizada por meio de um fluido térmico (p. ex. ar, vapor ou óleo), gerado por uma fonte externa de energia correspondendo, numa análise simplista, ao calor latente de vaporização da água: 17580,1 kWh. Contudo, na prática e dependendo da eficiência do processo de secagem, o calor necessário a fornecer aos secadores pode variar entre as 21975,1-26370,1 kWh.

Para a sua valorização agrícola a lama seca deve ser aquecida a uma temperatura de 80 °C durante um período de 10 minutos por forma a que se atinga um teor de humidade inferior aos 10%. As duas principais utilizações das lamas desidratadas termicamente são i) a valorização agrícola e ii) a recuperação de energia.

As características dos sistemas de secagem dependem do uso a dar às lamas. Os requisitos de energia necessários à secagem são muito superiores aos requeridos nos sistemas de desidratação, quando se compara com o volume de água extraído. Desta forma e na grande

maioria dos casos, a secagem das lamas é realizada após a etapa de desidratação. A escolha da tecnologia deve ir ao encontro das necessidades e dos objetivos específicos (encaminhamento a dar às lamas). Neste sentido, dever-se-á ter em conta os seguintes requisitos:

- a) Quando o destino final das lamas secas é o aproveitamento energético, o teor em matéria seca no processo de secagem deverá rondar os 40-50% (secagem parcial) por forma a facilitar a autocombustão do resíduo;
- b) Quando o destino final das lamas secas é a monocombustão, a secagem das lamas poderá ser realizada através da desidratação mecânica (teor de matéria seca de 20-45%) ou por sistemas de secagem parcial (teor em matéria seca de 45-60%);
- c) Quando o destino final das lamas secas é o armazenamento (para posterior uso como fertilizante ou combustível), já são requeridos sistemas de secagem total por forma a garantir um teor em matéria seca de 90-95%. Posteriormente ao processo de secagem, as lamas podem ainda ser submetidas a um processo de granulação;
- d) Quando o destino final das lamas secas são processos termoquímicos (p. ex. pirólise e gaseificação) e ainda coqueificação em queimadores de carvão pulverizado, é necessária a secagem total da escória (teor de matéria seca de 90% ou superior);
- e) As lamas secas por via térmica têm geralmente a forma de grânulos esféricos (aproximadamente) e de diâmetro médio entre 2 e 4mm;
- f) O teor de humidade no armazenamento das lamas não deve ser superior a 5-6%, pois valores mais altos podem causar o crescimento de microrganismos e originar a auto-combustão do produto;
- g) O teor em nutrientes deve variar entre 1,5 e 6,0% para o azoto total enquanto que para a matéria orgânica os valores devem estar compreendidos entre 35 e 65% do peso seco. Em geral, a secagem térmica não diminui apreciavelmente o poder fertilizante inicial das lamas, embora alguns autores tenham relatado perdas de até 20% do azoto durante o processo;
- h) O tamanho de partícula deve ser homogéneo e variar entre 1 e 3mm, bem como apresentar dureza suficiente para que nenhuma poeira seja produzida durante seu uso;
- i) O conteúdo de metais pesados deve estar de acordo com os tipificados na legislação mais atual.

2.9.3. Tecnologias para a secagem de lamas

Do ponto de vista das tecnologias que são utilizadas para a secagem verifica-se que as lamas passam por três fases reológicas diferenciadas:

- a) Fase húmida, na qual a lama flui livremente podendo esta ser facilmente dispersa sobre os tubos do aquecedor (teor de matéria seca inferior a 45%);
- b) Fase viscosa, na qual a lama encontra-se num estado pastoso o que não permite fluir facilmente (teor de matéria seca entre os 50 e 60%).
- c) Fase granular, na qual a lama se mistura livremente (teor de matéria seca superior a 65%).

Devido a essas mudanças físicas, as tecnologias de secagem que tiveram sucesso com outros materiais, não puderam ser transferidas diretamente para secagem de lamas de esgoto, uma vez que a fase viscosa torna impossível obter um filtrado completamente seco numa única unidade. Consequentemente, dois tipos diferentes de secagem foram desenvolvidos, como mostrado na Figura 6:

- Secagem parcial, quando o bolo de filtragem é seco até atingir o final da zona húmida;
- Secagem completa, que ocorre em duas etapas usando uma técnica de recirculação em que as partículas finas de lama pré-seca são recicladas e misturadas com o bolo de lamas desidratadas numa proporção adequada.

O calor transferido para a lama pode ocorrer de forma direta ou indireta. No primeiro caso, é necessário o contato intensivo entre o gás e a lama. No segundo caso, o calor é transferido para o material a ser seco por condução através de uma superfície de transferência e, assim, o meio de aquecimento não entra em contacto com a lama. Em geral, este critério é amplamente utilizado para distinguir entre duas grandes famílias de tecnologias de secagem térmica aplicadas às lamas, isto é, dependendo se existe contacto direto entre o meio de transporte de calor (ar, gases de exaustão ou vapor) e a lama (secadores diretos), ou se, pelo contrário, existe uma barreira física que separa o meio de transporte de calor e a lama (secadores indiretos).

Apesar de secagem direta apresentar como vantagem principal (relativamente à secagem indireta) a obtenção de uma gama de partículas mais consistentes e uniformes, a utilização deste sistema pode conduzir à contaminação das lamas, aumenta a dificuldade em controlar o tamanho de partícula e odores e, apresenta menor eficiência térmica.

SECAGEM PARCIAL



SECAGEM COMPLETA

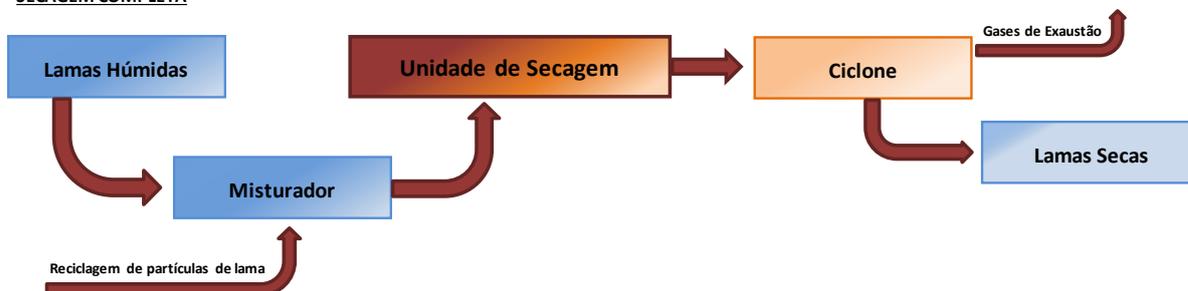


Figura 6 - Processo de secagem parcial e completa de lamas desidratadas.

2.9.4. Vantagens e desvantagens da secagem térmica

O processo de secagem Carver-Greenfield (C-G) (Figura 7) é uma tecnologia utilizada no processamento de lamas de esgoto que permite a obtenção de um produto combustível (derivado da lama). Esta tecnologia apresenta um reduzido consumo energético através da utilização de um secador de efeito múltiplo. Neste caso, o processo de secagem ocorre em vários estágios, nos quais o calor necessário para a evaporação é obtido pela condensação do vapor gerado no estágio anterior, a temperatura e pressão mais elevadas. Desta forma só é necessário usar o calor externo (vapor) no primeiro estágio. As lamas mecanicamente desidratadas são misturadas com um óleo industrial, cujo ponto de ebulição é superior ao da água, permitindo assim que a mistura seja pré-seca.

As lamas (digeridas ou não digeridas), contendo uma fração mássica em sólidos entre os 3% a 5%, podem ainda ser submetidas ao processo C-G, tendo em vista a obtenção de um produto

com características de combustível. As lamas recuperadas em tanques de decantação ou em lagoas podem ser igualmente submetidas ao processo C-G, desde que apresentem uma fração em sólidos entre os 12% a 15%.

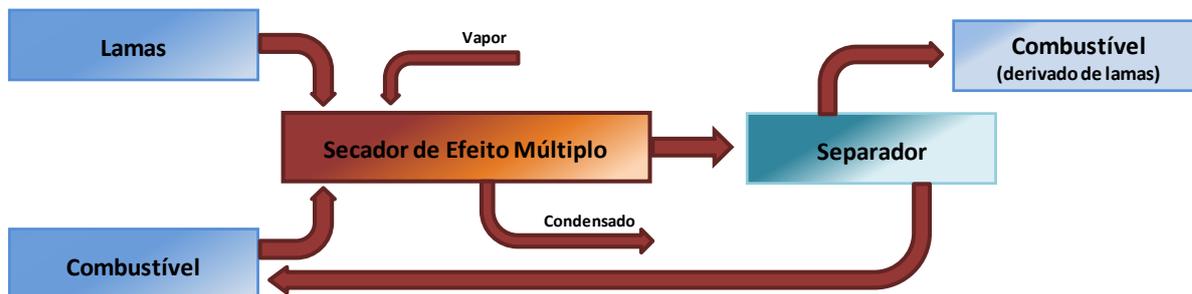


Figura 7 - Diagrama de fluxo do processo Carver-Greenfield (CG).

O óleo industrial utilizado mantém a lama na forma líquida mesmo depois que seu teor de água ter sido reduzido para valores inferiores a 5%. O óleo é então separado através de um filtro prensa e subsequentemente reciclado. O combustível produzido a partir de lama contém 87% lama sólida, 9% de óleo e 4% de água e apresenta como poder calorífico valores entre 16 700 - 18 000 kJ/kg.

Na Tabela 7 são apresentados os valores de Poder Calorífico Superior (PCS) de diferentes tipos de lamas.

Tabela 7 - Poder calorífico superior dos diferentes tipos de lamas.

<i>Tipologia de lamas</i>	<i>Poder Calorífico Superior (kJ/kg)</i>	
	Intervalo	Valor Típico
Lamas primárias	23000 - 29000	25500
Lamas ativadas	16000 - 23000	21000
Lamas primárias de digestão anaeróbica	9000 - 13500	11500
Lamas primárias de precipitação química	13500 - 18500	13500
Lamas de filtros biológicos	16000 - 23000	20000

Como apresentado na Figura 8, a lama espessada é misturada com a lama primária e digerida. Subsequentemente, é mecanicamente desidratada de 5% para 18-20% de sólidos em massa, sendo posteriormente o bolo de lama seco numa unidade C-G.

Na unidade de secagem, a lama desidratada é misturada com um óleo leve, dando origem a uma suspensão que, juntamente com o fluxo de recirculação, é introduzida num tanque de homogeneização. A secagem da mistura ocorre num sistema de evaporação múltipla em quatro etapas. O biogás gerado na digestão anaeróbica é usado para produzir eletricidade numa unidade de cogeração, enquanto o combustível derivado das lamas é convertido em energia (unidades de combustão, de gaseificação e leito fluidizado). O calor residual de arrefecimento das unidades de produção de energia é utilizado para aquecer os digestores e para outros usos na instalação, atingindo uma eficiência térmica da ordem dos 70%.

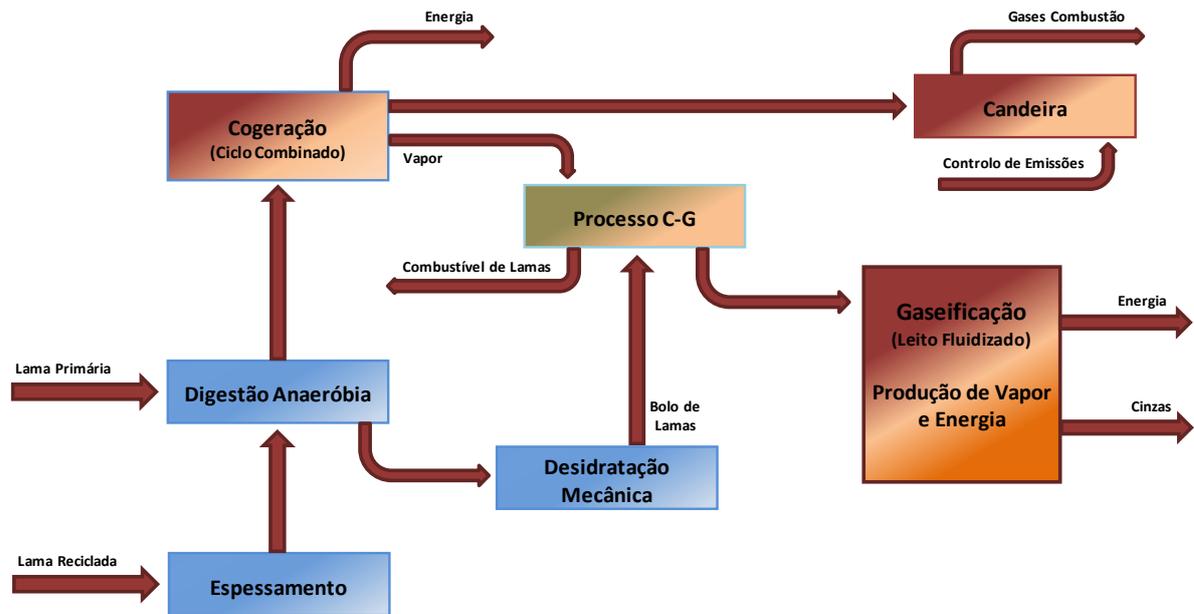


Figura 8 - Diagrama de fluxo da central Hyperion Energy Recovery System (HERS).

2.9.5. Tratamento da fase gasosa

As águas residuais contêm um conjunto de gases dissolvidos resultantes não só da dissolução do ar atmosférico na água, mas também (maioritariamente) os gerados pelas reações biológicas e químicas dos diferentes constituintes presentes. Os principais gases produzidos incluem o gás sulfídrico (H_2S) bem como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4). Estes gases não só apresentam um efeito negativo para a saúde pública, como também apresentam efeitos negativos para o ambiente, provocando odores desagradáveis. São corrosivos (H_2S) e ainda conduzem ao aumento do efeito de estufa (CO_2 e CH_4).

Acresce que os efeitos anteriormente referidos são mais intensos em determinadas fases de tratamento das águas residuais em que a formação e/ou libertação dos mesmos é significativamente mais acentuada. Deste modo, as zonas mais afetadas pela formação de odores desagradáveis das estações de tratamento das águas residuais, encontram-se principalmente no nível de tratamento preliminar (que recebem os efluentes na sua forma bruta), bem como nas unidades de tratamento das lamas e decantadores primários. É frequente, nas ETAR de maiores dimensões localizadas perto das zonas urbanas, a implementação de coberturas e sistemas de desodorização da atmosfera por forma a proceder à sua contenção para posterior tratamento e/ou valorização.

O CH_4 , principal gás constituinte do biogás produzido no decurso do tratamento anaeróbio das lamas, é um gás combustível que apresenta as características adequadas para a sua valorização energética (produção de calor e/ou eletricidade) ou, em alternativa, ser queimado antes de ser encaminhado para o seu destino final (atmosfera). No entanto, antes de qualquer opção, este necessita de ser tratado para eliminação do H_2S .

2.9.6. Algumas considerações económicas e financeira

A reutilização de águas residuais tem vindo a ganhar crescente relevância, constituindo uma alternativa à distribuição da água através do serviço público de abastecimento para diferentes fins.

Tanto os fatores económicos como os financeiros são especialmente importantes quando se estuda e avalia a viabilidade económica/financeira de um novo sistema de tratamento de águas residuais. A relação custo/benefício, bem como a transferência de outros custos (muitas vezes oculta) para outros setores (p. ex. impactes ambientais, económicos, sociais e de saúde), devem ser igualmente incluídos na análise de custos aquando da implementação de sistemas de tratamento de águas residuais. Acresce, ainda, possíveis custos de transformação e/ou adaptação de infraestruturas, níveis de tratamento requeridos, bem como a monitorização e cumprimento dos padrões pretendidos dos produtos finais (tendo em vista a sua utilização e/ou valorização).

No entanto, podem ainda ser identificados um número significativo de benefícios resultantes do tratamento adequado das águas residuais, dos quais se incluem:

- a) O valor inerente ao recurso hídrico e sua contribuição para uma gestão sustentável;
- b) Substituição do abastecimento para usos não potáveis (p. ex. sistemas de rega públicos e privados);
- c) Mitigação dos impactes ambientais associados à reutilização;
- d) Valorização económica dos diversos produtos finais decorrentes do tratamento;
- e) Aplicação dos produtos finais no melhoramento dos solos (p. ex. incorporação de nutrientes);
- f) Redução do impacte ambiental (menor número de descargas poluentes).

Relativamente aos custos de operação e manutenção dos sistemas de tratamento, a energia elétrica (excetuando as grandes instalações com sistemas de cogeração), é aquele que apresenta o maior contributo, representando atualmente mais de 56% dos custos totais. Convém também referir que o tratamento de lamas implica mais de 50% dos custos totais de uma ETAR. O consumo de energia elétrica deve-se essencialmente ao funcionamento de bombas, sopradores e arejadores, aquecimento do digestor, desidratação de lama (centrifugação ou filtros de banda), desinfecção através de sistemas de radiação ultravioleta e desodorização.

3. PROCESSOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com o Relatório Anual de Resíduos Urbanos de 2017 da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em 2017 foram produzidas 5 007 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) em Portugal, aproximadamente mais 2% do que em 2016. Em relação ao encaminhamento direto de RSU para as principais operações de gestão, têm a seguinte distribuição: 32% para disposição em aterro sanitário, 28% para tratamento mecânico biológico (TMB), 21% para valorização energética, 10% para valorização material, 7% para tratamento mecânico e 2% para valorização orgânica.

Ainda assim, ao efetuar uma análise considerando os destinos finais dos RSU, a distribuição em termos percentuais varia substancialmente: 57% para disposição em aterro sanitário, 21% para valorização energética, 12% para reciclagem e 10% para compostagem/digestão (Agência Portuguesa do Ambiente, 2017).

No caso da Espanha, a produção de resíduos sólidos urbanos para o ano 2014 foi 103,3 milhões de toneladas, o encaminhamento desses resíduos teve a seguinte distribuição: 47,9% para disposição em aterro sanitário, 3,4% foram usados para recuperação de energia, 12,6% para *backfilling* e 36,1% foram reciclados (Eurostat, 2017).

A gestão dos RSU em Portugal e Espanha é efetuada por processos diferenciados que no final são interligados, por forma a obter uma disposição final mais eficiente. Paralelamente, existem políticas para promover o uso eficiente dos produtos e reduzir a produção dos resíduos sólidos urbanos (redução na fonte).

Na gestão dos RSU é importante fazer uma separação inicial dos que podem ser reciclados, sendo os restantes processados tendo em vista a sua valorização. Os resíduos rejeitados após estes processos intermédios são dispostos em aterro sanitário ou incinerados, gerando uma potencial valorização energética resultante do aproveitamento da energia térmica do processo de incineração. A Figura 9 mostra o ciclo de gerenciamento dos RSU.

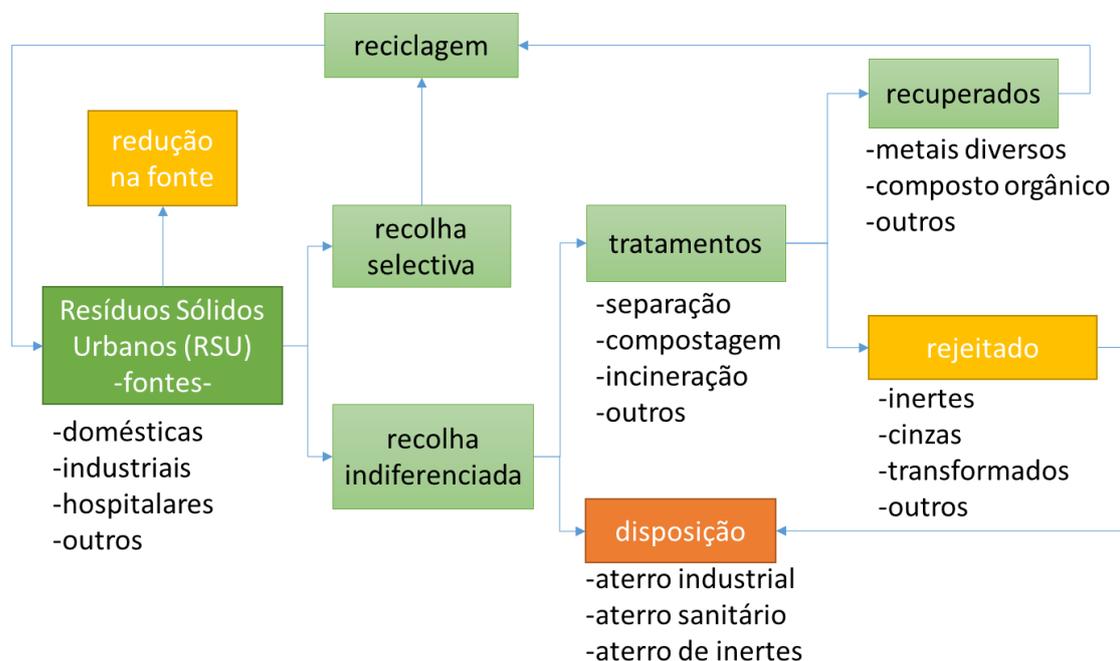


Figura 9 - Ciclo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. (Instituto de Geociências e ciências exatas -UNESP, 2015).

A recolha dos resíduos classifica-se de acordo com o modo de deposição. Assim, considera-se que se efetua uma *recolha indiferenciada* quando o produtor de resíduos os coloca misturados no recetáculo destinado aos resíduos indiferenciados, existindo uma *recolha seletiva* quando o produtor deposita os resíduos separados por tipologia de material nos ecopontos e ecocentros.

a) **Recolha indiferenciada**

A recolha indiferenciada, resulta da recolha dos resíduos que são misturados e depositados em contentores independentemente do tipo, por exemplo nos contentores das ruas ou caixotes de lixo de menor dimensão (vulgo, papeleiras). Os resíduos recolhidos são por sua vez entregues diretamente na Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (UTMB) ou em estações de transferência (ET) onde os resíduos aguardarão transporte para uma UTMB. Na Figura 10, pode-se observar uma estação de transferência da empresa GESAMB.



Figura 10 - Estação de transferência da GESAMB. (Fonte: GESAMB).

b) **Recolha Seletiva**

Os resíduos são recolhidos na rede de ecopontos (ecopontos, vidrões isolados, papeleiras isoladas, e oleões), assim como os resíduos valorizáveis entregues diretamente nos ecocentros. Esses resíduos são encaminhados, depois de processados, para os diversos retomadores ou recicladores licenciados que procederão à sua receção e valorização.

A recolha seletiva tem por objetivo a valorização dos resíduos recolhidos por via da reciclagem, assegurando a matéria-prima necessária à produção de novos produtos e embalagens. Desta forma salvagam-se os recursos naturais através da diminuição da utilização de matérias-primas virgens.

Para apoiar a deposição seletiva de resíduos são disponibilizados ecopontos. Os ecopontos são geralmente constituídos por três contentores com diferentes cores, adaptados aos diferentes materiais a que se destinam através da forma dos orifícios de introdução dos resíduos. Alguns ecopontos integram um recetáculo de menor dimensão destinado à deposição das pilhas e acumuladores.



Figura 11 – Exemplo de equipamento de deposição de resíduos valorizáveis. (Fonte: GESAMB).

A Figura 11 exemplifica um tipo de contentores encontrados nos ecopontos. Os resíduos são separados nas seguintes frações:

- Papel e cartão – Contentor de orifício de introdução de cor azul;
- Vidro – Contentor de orifício de introdução de cor verde;
- Embalagens de plástico e metal – Contentor de orifício de introdução de cor amarela;
- Pilhas e acumuladores – Contentor de cor vermelha acoplado ao contentor de vidro com dois pequenos orifícios de formas distintas para deposição das diferentes tipologias de pilhas e acumuladores.

Em complemento aos ecopontos são disponibilizados Ecocentros (EC) que constituem infraestruturas destinadas a receber resíduos recicláveis que pelas quantidades e/ou dimensões não podem ser abrangidos pelos circuitos normais de recolha em ecoponto.

3.1. Triagem e valorização

Para assegurar a qualidade exigida aos materiais recolhidos e a sua colocação nas indústrias recicladoras face, por um lado, à grande heterogeneidade dos resíduos e, por outro lado, aos requisitos daquelas entidades quanto a limpeza, matérias indesejáveis, formas de acondicionamento, entre outros, é imprescindível a existência de linhas de triagem. As linhas de triagem normalmente localizam-se junto ao aterro sanitário, não só por questões da existência de rejeitados no processo de triagem, mas também por razões de logística, nomeadamente e termos de infraestruturas, manutenção e gestão.

Na central de triagem separam-se os resíduos plásticos, frações de papel/cartão, resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos, vidros, metais e outros resíduos. A maior parte da triagem destes resíduos é efetuada manualmente, pelo que quanto mais limpas as embalagens chegarem a essa fase, mais fácil o trabalho dos operadores de triagem.

Depois de devidamente enfardados, o papel/cartão assim como as embalagens de plástico e metal, são encaminhados para as indústrias recicladoras no sentido de completar o ciclo da reciclagem dos materiais.

A reciclagem, consiste na reintrodução dos resíduos no processo de produção. É o processo que permite reduzir o consumo de matérias-primas, de utilização de energia e a poluição do ar e da água, ao reduzir também a necessidade de tratamento convencional de lixo e a emissão de gases com efeito de estufa. É uma prática que ajuda na economia na redução de energia gasta nos processos de produção e pela diminuição na utilização de matéria-prima virgem.

3.2. Tratamento Mecânico e Biológico

O conceito de tratamento mecânico e biológico (TMB) é utilizado genericamente para designar a integração de várias operações como triagem, compostagem, produção de combustível derivado de resíduos (CDR), entre outros. Estes processos foram desenvolvidos face à necessidade de reduzir a quantidade de resíduo depositado em aterro, nomeadamente pela recuperação de resíduos biodegradáveis ou com potencial de valorização.

O tratamento mecânico e biológico tem diferentes fases, desde a recolha do RSU até obter-se o composto final, a Figura 12 mostra o processo do TMB.

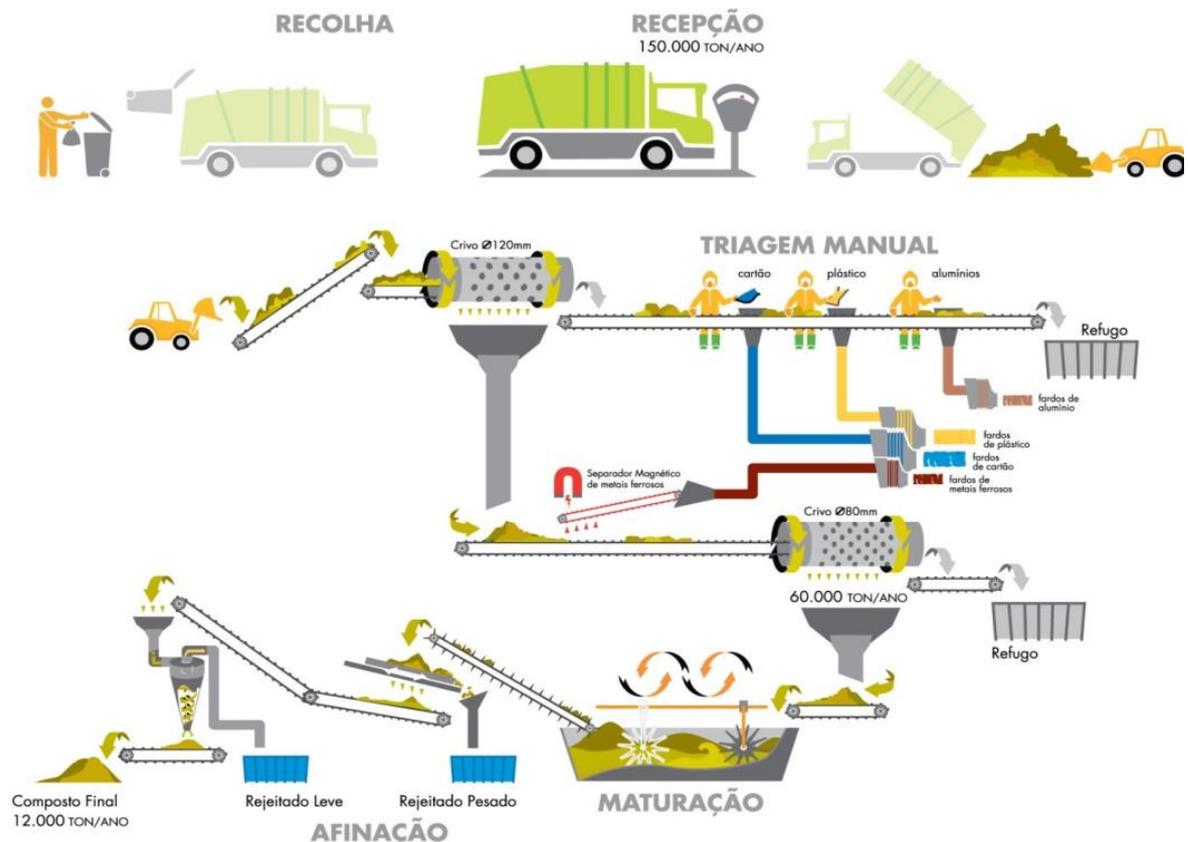


Figura 12 - Fases do tratamento mecânico biológico (TMB). (Thomé, 2013).

O TMB separa o substrato (fração orgânica dos resíduos) a digerir no sistema de compostagem. Associado ao processo de preparação da fração orgânica, e em função das características dimensionais e tipologias das restantes frações, são efetuadas operações de separação dos diferentes componentes, de modo a obter a máxima recuperação de materiais recicláveis (expedidos para reciclagem).

Nesta fase os resíduos são sujeitos a uma sucessão de separações físicas, designadamente, separação granulométrica através de *crivo* para materiais até 120 mm de diâmetro, separação balística que promove a divisão dos materiais por roletes, planos e finos, aspiração de filme, separação magnética de materiais ferrosos, leitores óticos que identificam os materiais roletes em função da sua natureza e separação de *crivo* para remoção de materiais não ferrosos até 80 mm de diâmetro.

A sequência dos processos descritos permite então a separação dos materiais recicláveis presentes nos RU nas seguintes categorias:

- PET (Polietileno tereftalato);
- PEAD (Polietileno de alta densidade);
- ECAL (Embalagens de cartão para alimentos);
- Plásticos mistos;
- Metais ferrosos;
- Metais não ferroso;
- Filme.

A restante fração de materiais é ainda separada em materiais com características combustíveis (CDR) e em rejeitados com destino a aterro. Para além da linha de processamento de RSU indiferenciados (LTRSU – linha de triagem de resíduos sólidos urbanos), a UTMB poderá

possuir uma linha de triagem multimaterial (LTM) destinada a processar os resíduos de embalagem de plástico e metal provenientes da recolha seletiva.

3.3.Compostagem

Consiste no processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal. Esse processo tem como resultado final um produto que deve permitir sua aplicação no solo sem ocasionar riscos para o meio ambiente. É muito praticado no meio rural. Para ser aplicado aos RSU, necessita-se de um rigoroso processo de triagem de sua fração orgânica para livrá-lo de componentes tóxicos ou perigosos.

A fração orgânica apurada no tratamento mecânico é encaminhada para a zona da pré-compostagem, onde é efetuada a preparação do substrato a compostar, através da mistura de resíduos verdes e material estruturante.

Esta mistura é posteriormente introduzida em túneis (pré-compostagem), que depois de carregados são fechados, dando-se início ao processo de compostagem. O substrato permanece no seu interior pelo período mínimo de uma semana, sendo posteriormente encaminhado para estabilização em sistema aberto.

Na fase de pós-compostagem (maturação) o substrato permanece na forma de pilhas sujeitas a volteamento periódico, durante 10 a 12 semanas.

Quando o composto está estabilizado é transferido para a afinação, onde é efetuada a separação de inertes e materiais indesejáveis que serão posteriormente enviados para aterro. O composto produzido fica armazenado, nesta mesma zona, aguardando expedição.

3.4.Aterro sanitário

É a forma de disposição final de resíduos sólidos no solo, em local devidamente impermeabilizado, mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.

A degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos depositados no aterro, processada em condições maioritariamente anaeróbias, resulta na produção de material líquido residual, de características fortemente nocivas para o meio envolvente. Este fenómeno, em conjunto com a infiltração de águas pluviais, conduz à produção de “águas lixiviantes”. Estas águas, juntamente com todos os efluentes produzidos em todas as instalações são enviados para estações de tratamento de águas lixiviantes (ETAL).

O aterro dispõe também de um sistema de captação, drenagem e tratamento de biogás. O biogás produzido é capturado e aspirado para a sua combustão controlada. Esta pode ser num motor de cogeração para obter eletricidade e calor, ou utilizada numa caldeira de água quente para dar calor à planta de tratamento de lixiviados.

3.5.Incineração

É o processo de redução de peso e volume de resíduos sólidos urbanos pela combustão controlada, que de outra forma, poderiam poluir os solos e as águas. A incineração implica a emissão de gases e poeiras que poderão provocar poluição atmosférica. A poluição atmosférica causada pela incineração poderá ser minimizada, recorrendo a sistemas de redução de emissão de partículas. É bastante difundida em países desenvolvidos e com pouca extensão territorial e, normalmente, associada à produção de energia.

3.6.Processos de secagem alimentados por energia solar térmica

O calor em sistemas de secagem convencionais em media ou alta temperatura é normalmente fornecido pela combustão de combustíveis fósseis. Em sistemas de aquecimento de queima direta, os gases de combustão são usados diretamente como meio de transferência de calor para o processo de secagem. Em sistemas de aquecimento acionados indiretamente, o calor de combustão é transferido para outro fluido (ar, vapor ou óleo).

O objetivo da secagem é a redução do teor de humidade num material por ação da energia térmica, para deixar o material seco, tornando-o um produto mais atrativo. (Dufour, 2006)

No uso dos RSU como combustível alternativo, devem ser considerados vários parâmetros, os mais relevantes são o tamanho da fração combustível (orgânica) e o teor de humidade (Karwat et al., 2014). A redução do teor de humidade permite o aumento do PCI, especialmente no CDR gerado após tratamento mecânico biológico e triagem (Mendes, 2014).

3.7.Processos de secagem no processamento de RSU

Os principais processos de secagem utilizados no processamento de RSU são a bio-secagem e a secagem térmica.

a) Bio-secagem

Este processo de secagem corresponde à evaporação convectiva, utilizando o calor da biodegradação aeróbia dos resíduos e a introdução de fluxo de ar. O conteúdo de humidade é reduzido em dois passos:

- As moléculas de água passam da superfície dos resíduos para o ar circundante.
- A água evaporada é transportada através de um fluxo de ar para ser removida com as emissões gasosas de escape.

No caso do TMB é importante a redução do teor de humidade dos RSU para aumentar a eficiência do processo. A bio-secagem é uma variação à descomposição aeróbia, muito utilizada em TMB para secagem e estabilização parcial dos RSU (Velis et al., 2009).

Os métodos de bio-secagem usados atualmente são a bio-secagem em túneis de compostagem e a bio-secagem com recurso a telas com características específicas.

O método de bio-secagem em túneis, consiste num sistema modular que funciona com injeção de ar (ventilação) com possibilidade de adição de água, e os túneis são carregados e descarregados por processos manuais ou automáticos.

A bio-secagem com telas, requer que o CDR seja disposto numa pilha e coberto por uma tela, do tipo gore cover, que impede a entrada de água, protegendo da chuva, mas permitindo a saída do vapor de água.

b) Secagem térmica

Globalmente o CDR, é utilizado como combustível substituto em fornos de cimento, centrais termoelétricas a carvão, fornos de cal, caldeiras industriais, etc. Em todo o caso, para ser utilizado o CDR necessita de apresentar um baixo teor de humidade, requerendo a utilização de processos térmicos de secagem.

O objetivo da secagem térmica é aumentar o poder calorífico do CDR, diminuindo a sua humidade. Antes da secagem o CDR apresenta tipicamente teores de humidade entre os 40% a 50%, devendo após secagem atingir valores na ordem dos 10%.

Os processos de secagem térmica poderão ser alimentados por calor produzido por sistemas de concentração solar térmica em regime de cogeração ou em sistemas solares térmicos dedicados à geração de calor. No primeiro caso, o ar de secagem pode ser aquecido por vapor extraído de uma turbina alimentada por calor proveniente do campo solar. Assim, é possível usar a eletricidade gerada para alimentar os sistemas mecânicos utilizados no TMB, além do fornecimento de energia térmica ao ar quente utilizado no processo de secagem. No segundo caso o campo solar aquecerá um fluido de transferência de calor, sendo este utilizado para aquecer o ar usado no processo de secagem através de um permutador de calor líquido/ar.

3.8. Processos alimentados com energia solar térmica

Os sistemas solares térmicos convertem a radiação que poderá ser utilizada para alimentar um processo térmico, como a secagem, ou armazenada para posterior utilização.

Estes sistemas podem ser divididos em duas classes, os sistemas não concentradores e os sistemas concentradores. Nos primeiros a radiação solar é convertida em calor num absorvedor, aquecendo um fluido de transferência de calor. Estes sistemas utilizam radiação solar tanto na componente direta como na difusa, permitindo alimentar sistemas na gama das baixas temperaturas (p. ex. inferiores ou em torno dos 100 °C). Os sistemas concentradores utilizam refletores para concentrar a radiação solar num recetor onde ocorre a conversão de energia radiativa em energia térmica que aquece um fluido de transferência de calor. Estes sistemas utilizam apenas a componente direta da radiação solar e permitem operar sistemas a médias e altas temperaturas (p. ex. acima dos 100 °C).

Existem diferentes tipos de sistemas de concentração solar térmica (CST), sendo a principal diferença o mecanismo utilizado para a concentração da radiação solar. Na Figura 13, destacam-se as 4 famílias tecnológicas de sistemas CSP: sistemas cilindro-parabólicos, sistemas de refletor linear de Fresnel, sistemas de recetor central e sistemas de disco parabólico.

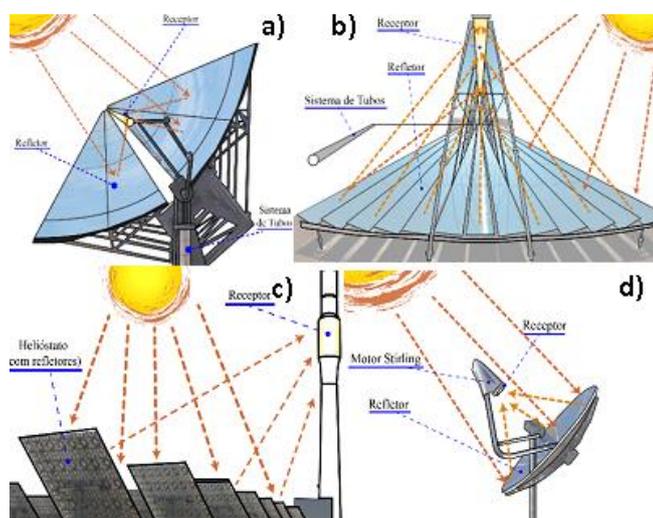


Figura 13 - Tecnologias de concentração solar térmica: a) Cilindro parabólico, b) Fresnel Linear, c) Torre central e d) Disco Parabólico.

Existem vários tipos de fluidos de transferência de calor. A sua escolha dependerá da aplicação em causa e da gama de temperaturas de operação, por exemplo: água (até 200°C); óleos térmicos (até 400 °C); sais fundidos (até 550 °C) e ar (até ~1000 °C).

As tecnologias CST possuem diversas aplicações como a geração de eletricidade em centrais termoelétricas (STE ou CSP), produção de calor para processos industriais, refrigeração (ar-condicionado, produção de água gelada, congelamento de produtos agropecuários), dessalinização, etc.



Figura 14 - Estação de tratamento de águas residuais utilizando os concentradores cilindro parabólicos para a secagem das lamas. (Fonte: Helio CSP).

A Figura 14 apresenta um exemplo de um sistema de secagem solar de uma ETAR que utiliza dois coletores cilindro-parabólicos para secar lamas numa estação de tratamento de águas residuais em Surprise, no estado do Arizona, EUA. O objetivo desta instalação é reduzir o teor de água das lamas para facilitar o transporte. O município pretende expandir a capacidade de secagem solar para 5 MW térmicos em cerca de dois anos.

O relatório PP2 – “Soluções técnicas de secagem com energia solar térmica de concentração” apresentará informação mais detalhada relativamente à utilização de energia solar térmica em processo de secagem de lamas provenientes de ETARS e RSU. Para além da aplicação ao processo de secagem, a energia solar poderá ser utilizada no processamento de águas residuais conforme resumido nos parágrafos seguintes.

a) Destilação solar e dessalinização de águas residuais

A destilação da água é um método típico de separação mecânica / física que é obtido por processos de evaporação e condensação. A destilação solar envolve o uso de energia solar térmica para obter a destilação. Num simples alambique de água solar, um coletor solar que absorve a radiação solar e a converte em calor é usado para evaporar a água contida na câmara de destilação do alambique. A água evaporada como resultado da saturação na câmara condensa no lado de aprisionamento, onde a água condensada passa agora através de uma tremonha em forma de funil para o tanque de armazenamento de destilados.

A destilação solar pode ser usada para tornar a água salgada potável (dessalinização). O primeiro registro desta utilização remonta aos alquimistas árabes do século XVI. Um projeto

de destilação solar em larga escala foi construído em 1872 no Chile, resultando numa central que tinha área de captação solar de 4 700 m², tendo sido capaz de produzir até 22 700 litros por dia (Cooper, 1973). Designs típicos de destiladores incluem sistemas de inclinação única, inclinação dupla (ou tipo de estufa), vertical, cónico, absorvedor invertido e efeito múltiplo (Tiwari et al., 2003). Os alambiques de dupla inclinação são os mais económicos para uso doméstico descentralizado. As unidades ativas de múltiplos efeitos são mais adequadas para aplicações de grande escala.

b) Destruição dos organismos patogénicos por via solar

A destruição dos organismos patogénicos, também conhecida como desinfeção, é um método de tratamento de águas para o consumo que pode ser alcançado usando radiação solar (por vezes designado por desinfeção solar - SODIS). Este foi desenvolvido na década de 1980 para desinfetar de forma barata a água usada para soluções de desidratação oral para o tratamento da diarreia (CDCP, 2010).

Demonstrou-se que o SODIS melhora a qualidade da água e reduz a incidência de diarreia em países em desenvolvimento onde métodos sofisticados de purificação de água não estão disponíveis. Revelou um grande potencial para reduzir a carga global de doenças diarreicas, que afeta mais de 1,8 milhões de pessoas.

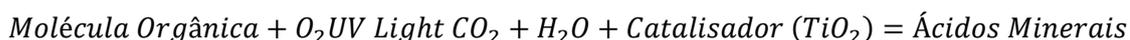
A desinfeção solar é conseguida enchendo garrafas plásticas de 0,3 a -2,0 litros com água de baixa turbidez, agitando a água para oxigenar e colocando a garrafa sob o sol por seis horas: Caso, o tempo estiver nublado, deve ser deixado por cerca de 2 dias. O efeito combinado da alteração de ADN induzida por radiação ultravioleta (UV), inativação térmica e destruição foto-oxidativa (POD), inativa os organismos causadores de doenças na água. Mais de 2 milhões de utilizadores atualmente praticam o SODIS em 33 países. O SODIS é uma tecnologia virtualmente de custo zero que não requer nenhum treino formal para sua aplicação.

c) Degradação foto catalítica solar (SPD)

Outra aplicação da energia solar no tratamento de águas residuais é a utilização da radiação solar UV para a foto-oxidação catalítica. A foto-catálise é a combinação de fotoquímica e catálise, um processo em que a luz e a catálise são usadas simultaneamente para promover ou acelerar uma reação química. Poderia ser definido como uma aceleração conduzida por catálise de uma reação induzida pela luz. A foto-catálise é uma excelente ferramenta para o tratamento final de amostras contendo poluentes orgânicos persistentes (POPs) quando comparada com os tratamentos clássicos (Doll and Frimmel, 2015; Hincapié et al., 2005).

A oxidação catalítica solar (SCO) envolve a produção de radicais, especialmente radicais hidroxilo, que degradam uma ampla gama de contaminantes orgânicos presentes nas águas residuais, na presença de um catalisador semiconductor e radiação UV. Nesta aplicação de oxidação, o objetivo é purificar as águas residuais industriais para fins como irrigação e outros usos domésticos.

Esta oxidação foto-catalítica heterogénea, que é um processo de oxidação avançada (AOP), provou ser uma tecnologia promissora para a remediação de poluentes orgânicos na água em condições ambientais (Sarria et al., 2002) e melhoria e manutenção da qualidade da água (Andreozzi et al., 1999; Comninellis et al., 2008; Matilainem and Sillanpaa, 2010). As reações foto-catalíticas ocorrem quando a separação de carga é induzida num semiconductor de banda larga por excitação com radiação ultravioleta, como mostrado abaixo.



Este método tem a vantagem da destruição completa do poluente orgânico, sendo mais eficaz que os processos de purificação de água convencionais, embora seja lento e mais difícil de usar ou manter. Os sistemas de radiação UV por lâmpadas ou produção de ozono são mais dispendiosos (Bahnemann, 1999), justificando o interesse em aplicações com o uso de catálise e energia solar. Durante as últimas décadas têm sido apresentados diferentes estudos focados em processos avançados de oxidação com base na irradiação solar, foto-Fenton e catálise heterogênea com UV / TiO₂ (Safarzadeh-Amiri et al., 1996). Várias revisões surgiram nos últimos anos (Malato et al., 2002; Marco et al., 1997; Rodriguez et al., 2002; Sarria et al., 2002; Scott, 1995; Scott and Ollis, 1996).

Os sistemas utilizados em aplicações foto catalíticas são semelhantes aos coletores solares térmicos denominados de convencionais. O fluido deve ser exposto à radiação solar ultravioleta pelo que o absorvedor deve ser transparente para permitir a penetração da radiação. Nenhum isolamento térmico é aplicado, pois a temperatura não desempenha nenhum papel importante no processo. Uma vista de um fotoreator solar típico é apresentada na Figura 15 abaixo.

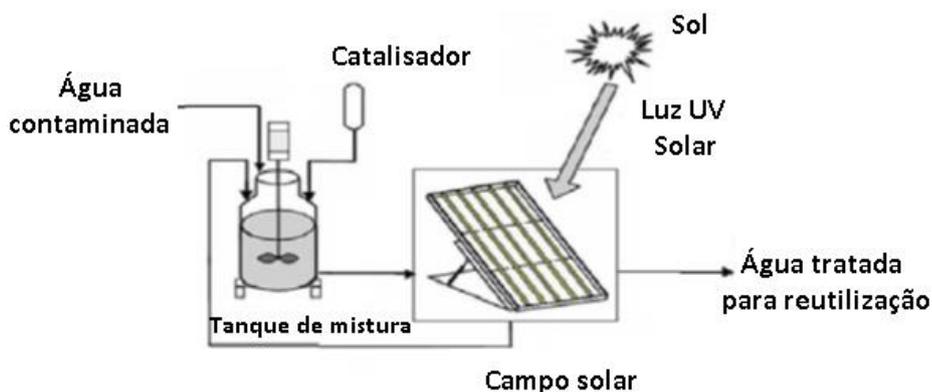


Figura 15 - Reator Fotográfico Solar (Adaptado de CSEM - United Arab Emirates, 2013).

A reação de oxidação avançada que é utilizada no tratamento de poluentes orgânicos, classificada como bio-recalcitrante (não biodegradável), é uma degradação foto-catalítica. É aplicada em tecnologias de tratamento de água para poluentes orgânicos não tratáveis por técnicas convencionais devido à sua alta estabilidade química e/ou baixa biodegradabilidade (Gogate and Pandit, 2003; Pera-Titus et al., 2004).

Os processos que envolvem a produção e subsequente reação de radicais hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), dos quais se destacam os TiO₂ / UV, H₂O₂ / UV, Foto-Fenton e ozono (O₃, O₃ / UV, O₃ / H₂O₂), são amplamente utilizados devido às suas características pouco seletivas (o que o torna muito útil no tratamento da poluição) e versatilidade (existem diferentes possibilidades de produção de radicais OH), permitindo deste modo uma maior adaptação às características específicas do tratamento.

A fotocatalise solar é uma reação de degradação que visa mineralizar os contaminantes existentes nas águas residuais em dióxido de carbono, água e em produtos orgânicos (Malato, 2007). Os poluentes eficientemente mineralizados por fotocatalise são normalmente efluentes de indústrias contendo corantes (Guillard et al., 2003), pesticidas (Burrows et al., 2002; Marinas et al., 2001) e os efluentes da indústria de papel (Peiró et al., 2001), bem como outros gases residuais (Hay and Obe, 1999; Kamat et al., 1996).

Na degradação fotocatalítica, o composto orgânico original é transformado para eliminar sua toxicidade e persistência. O átomo de carbono é oxidado em CO_2 . Outros elementos inorgânicos, como o azoto, são mineralizados principalmente em NO_3^- e NH_4^+ , embora de acordo com alguns autores (Guillard et al., 2003), os iões amónio são relativamente estáveis, depende a sua proporção principalmente da quantidade de oxidação do azoto orgânico e do tempo de irradiação.

Contaminantes organofosforados (principalmente pesticidas) produzem iões fosfato para uma gama de pH geralmente inferior a 4, permanecendo adsorvidos no TiO_2 quando utilizados como agente oxidante (Shifu and Gengyu, 2005). Compostos aromáticos são convertidos em compostos alifáticos, no entanto, à medida que a concentração e o número de contaminantes aumentam, o processo torna-se mais complicado, criando problemas de cinética (diminuição da velocidade das reações) causada principalmente pela baixa eficiência fotoelétrica (Malato, 2007).

Existem dois processos avançados de oxidação que permitem o uso da luz solar como fonte de energia: a fotocatalise heterogénea usando semicondutores e a fotocatalise homogénea usando processos foto-Fenton (Fujishima et al., 2000; Pirkanniemi and Sillampaa, 2002). A fotocatalise de TiO_2 usa luz solar UV (ou quase-UV - 300 a 400 nm) e a fotocatalise heterogénea foto-Fenton usa luz do sol até um comprimento de onda de 580 nm. A concentração é conseguida através do uso de concentradores de foco de linha como o coletor cilindro-parabólico ou o concentrador parabólico composto.

d) *Combinação da fotocatalise solar e o tratamento biológico*

Além dos desenvolvimentos que aumentam a taxa de reação fotocatalítica, o progresso mais importante na fotocatalise solar nos últimos anos tem sido relacionado à sua combinação com o tratamento biológico e a aplicação de métodos analíticos toxicológicos (Malato, 2007). Ambas as abordagens foram bem-sucedidas na diminuição do tempo de tratamento (isto é, tamanho da central), o que é outra maneira de aumentar a eficiência geral do processo, em contraste com o aumento da taxa de reação em si. A combinação reduz o tempo de tratamento e otimiza a economia geral, já que o sistema de desintoxicação solar pode ser significativamente menor (Férrandez-Alba et al., 2002; Gumy et al., 2006; Malato et al., 2003).

4. INSTALAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O potencial de utilização de energia solar térmica num determinado processo depende não só das características intrínsecas ao processo como da localização geográfica da instalação, uma vez que desta dependerá o recurso solar disponível. Nesta secção serão identificadas as principais instalações de tratamento Alentejo e Algarve, em Portugal, e Andaluzia na Espanha (Figura 16). Note-se que no caso do Alentejo, a região considerada neste documento não engloba a totalidade da NUTS-II Alentejo, mas apenas a região abrangida pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo.



Figura 16 - Localização geográfica do Alentejo, Algarve e Andaluzia.

4.1. Algarve

Na região do Algarve a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos é assegurada pela empresa Algar, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A. (Algar). O tratamento de águas residuais está a cargo da empresa Águas do Algarve, S.A. (AdA).

A Figura 17 identifica geograficamente as localizações dos principais aterros sanitários e estações de tratamento de águas residuais no Algarve.



Figura 17 - Ubicação dos aterros sanitários e das ETAR no Algarve (Adaptado de Google Maps).

1. Aterro sanitário do Barlavento da Algar, localizada na freguesia de Porto de Lagos no conselho de Portimão;
2. Aterro sanitário da Algar, localizado no Sotavento Algarvio;

3. ETAR de Boa Vista da empresa AdA, localizada na freguesia do Carvoeiro, concelho de Lagoa;
4. ETAR de Albufeira Poente da empresa AdA, localizada na freguesia da Guia, concelho de Albufeira;
5. ETAR de Almargem da empresa AdA, localizada na freguesia de Cabanas de Tavira, concelho de Tavira;
6. ETAR de Companheira da empresa AdA, localizada na freguesia de Companheira, conselho de Portimão;
7. ETAR de Faro Noroeste da empresa AdA, localizada na freguesia de Montenegro no concelho de Faro;
8. ETAR de Lagos da empresa AdA, localizada na freguesia de São Sebastião, concelho de Lagos;
9. ETAR de Olhão Nascente da empresa AdA, localizada na freguesia de Quelfes, concelho de Olhão;
10. ETAR de Faro da empresa AdA, localizada na freguesia, concelho de Albufeira;
11. ETAR de Vila Real do Santo António da empresa AdA, localizada no sítio da Carrasqueira na freguesia e concelho de Vila Real de Santo António;
12. ETAR de Vilamoura da empresa AdA, localizada na freguesia de Quarteira, concelho de Loulé.

4.1.1. Resíduos sólidos urbanos - Algar

A Algar é uma empresa de referência no setor ambiental na região do Algarve. Encontra-se encarregada pela gestão de RSU, e a sua atividade engloba o sistema integrado de recolha seletiva, transferência, triagem dos materiais destinados à reciclagem, aproveitamento energético do biogás produzido em aterro sanitário, compostagem de resíduos verdes e o tratamento dos RSU por disposição em aterro.

A Algar (Figura 18) gere os RSU em todos os 16 municípios algarvios (Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, São Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António), cobrindo uma população de 440.543 habitantes, e uma área de 4.997 km².



Figura 18 - Mapa da região do Algarve com a infraestrutura da Algar. (Fonte: GESAMB).

A infraestrutura da Algar para o tratamento dos RSU no Algarve consiste em:

- 2 aterros sanitários;
- 3 centrais de valorização orgânica (RSel);
- 8 estações de transferência;
- 3 estações de compostagem de resíduos verdes;
- 1 unidade de tratamento mecânico e biológico;
- 1 unidade de tratamento mecânico;
- 1 centro de educação ambiental;
- 2 estações de triagem;
- 13 ecocentros.

Os aterros sanitários da Algar foram projetados com quatro células de armazenamento cada um, mas apenas foram feitas duas. No caso do aterro sanitário de Sotavento espera-se que em 2019 a terceira célula seja concluída, esperando-se obter um volume de encaixe de 1 milhão e 200 mil metros cúbicos para a deposição de resíduos, o que permitirá uma capacidade total estimada de 130 mil toneladas de resíduos por ano. No aterro sanitário do Barlavento está igualmente em construção uma terceira célula.

No ano de 2017, foram produzidas quase 390000 toneladas de resíduos no Algarve. A Figura 19 apresenta a evolução da capitação de resíduos sólidos urbanos processados pela Algar. A Figura 20, representa a percentagens de encaminhamento e a percentagem dos destinos finais dos RSU no Algarve.

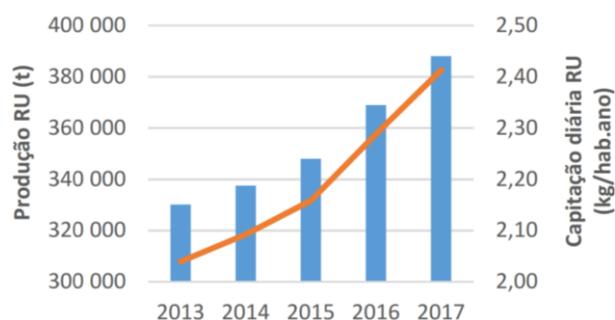


Figura 19 - Evolução da capitação de RSU no Algarve pela empresa Algar. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

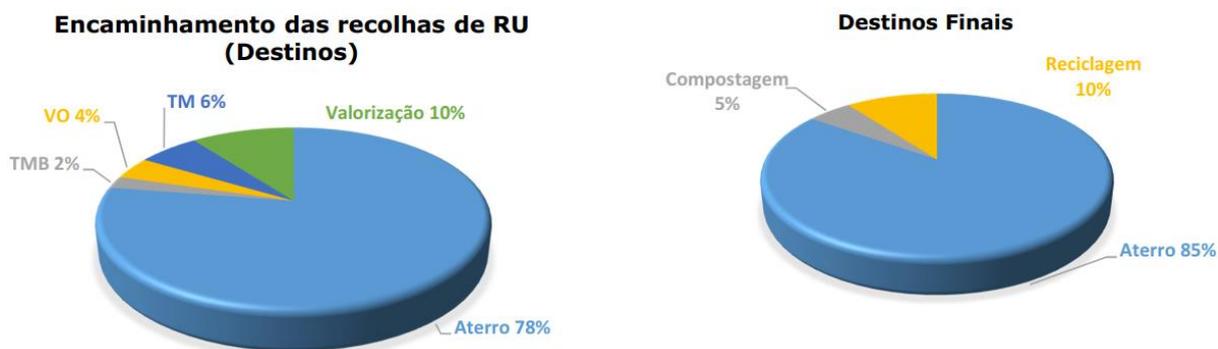


Figura 20 - Gráfico dos destinos dos RSU no Algarve. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.1.2. Águas residuais – Águas do Algarve

A Águas do Algarve S.A. (AdA) é uma sociedade de direito privado e capitais públicos em que a Administração Central, através da empresa Águas de Portugal, SGPS, SA, participa

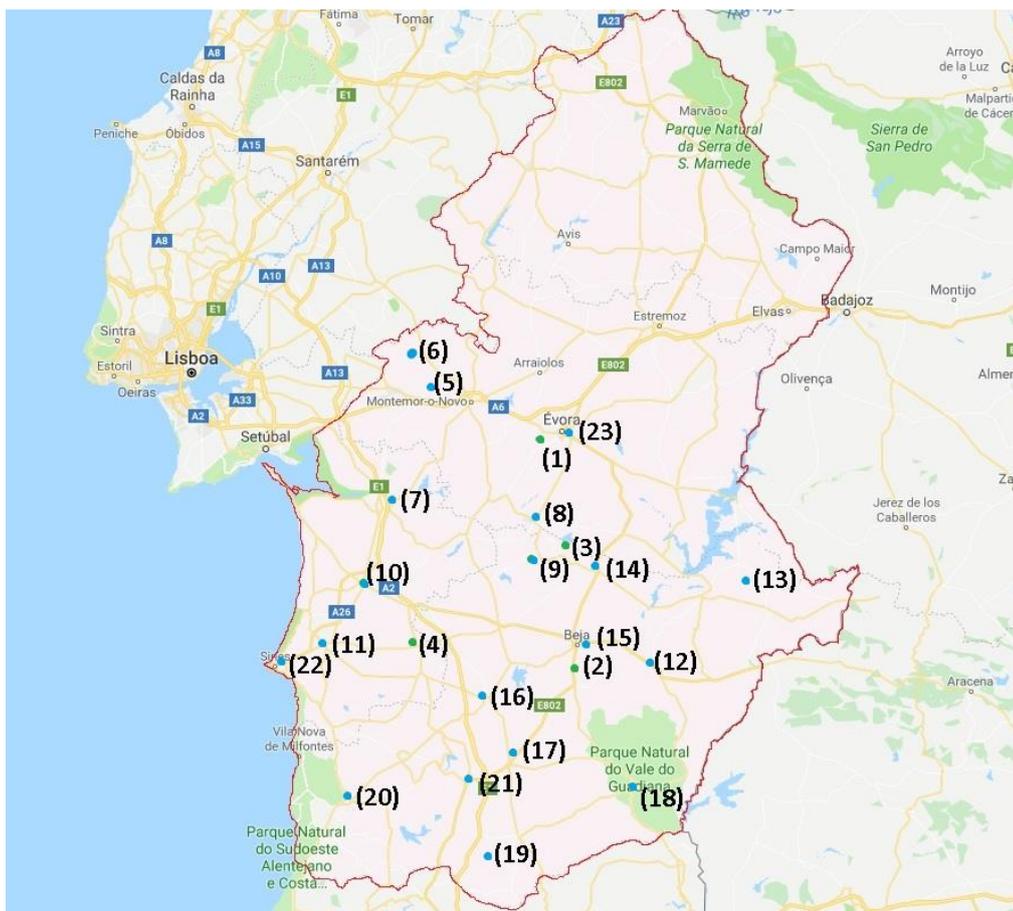


Figura 22 - Localização dos aterros sanitários e das ETAR no Alentejo. (Adaptado de Google Maps).

1. Aterro sanitário e UTMB da GESAMB, localizado na freguesia de Pormarinho no conselho de Évora;
2. Aterro sanitário da empresa RESIALENTEJO, localizado na estrada da freguesia de Santa Clara de Louredo no distrito de Beja;
3. Aterro sanitário da empresa AMCAL, localizado na freguesia Vila Ruiva no conselho Cuba;
4. Aterro sanitário da AMBILITAL, localizado na freguesia Ermidas do Sado no conselho Setúbal;
5. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Montemor-o-Novo no Distrito de Évora;
6. ETAR da empresa AgdA, localizada cidade Vendas Novas no Distrito de Évora;
7. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Alcácer do Sal no Distrito de Setúbal;
8. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Viana do Alentejo no Distrito de Évora;
9. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Alvito no Distrito de Beja;
10. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Grândola no Distrito de Setúbal;
11. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Santiago do Cacém no Distrito de Setúbal;
12. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Serpa no Distrito de Beja;
13. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Moura no Distrito de Beja;
14. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Vidigueira no Distrito de Beja;

15. ETAR da empresa AgdA, localizada na cidade Beja capital do Distrito de Beja;
16. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Aljustrel no Distrito de Beja;
17. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Castro Verde no Distrito de Beja;
18. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila raiana Mértola no Distrito de Beja;
19. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Almodôvar no Distrito de Beja;
20. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Odemira no Distrito de Beja;
21. ETAR da empresa AgdA, localizada na vila Ourique no Distrito de Beja;
22. ETAR da empresa Águas de Santo André localizada na Ribeira de Moinhos no conselho de Sines;
23. ETAR da empresa Águas do centro do Alentejo, localizada na cidade Évora capital do Distrito de Évora.

4.2.1. Resíduos sólidos urbanos - GESAMB

A GESAMB é uma empresa intermunicipal de capitais maioritariamente públicos, que integra os municípios de Alandroal, Arraiolos Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mora, Mourão, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Vendas Novas e Vila Viçosa, abrangendo uma população de aproximadamente 144 163 habitantes numa área de 6 400 km, onde em 2017 foram produzidas 78 525 toneladas de RSU.

As infraestruturas da GESAMB estão assinalas esquematicamente na Figura 23. Estas consistem em:

- 1 aterro sanitário localizado na cidade de Évora;
- 1 central de valorização orgânica (RInd) localizada na cidade de Évora;
- 1 unidade de tratamento mecânico biológico localizada na cidade de Évora;
- 1 estação de triagem localizada na cidade de Évora;
- 4 estações de transferência localizadas em Borba, Montemor-o-Novo, Mora e Reguengos de Monsaraz;
- 7 ecocentros localizados nos 7 municípios que a GESAMB administra.



Figura 23 - Infraestrutura que integram a GESAMB. Fonte: GESAMB.

Na Figura 24 mostra-se o fluxograma das infraestruturas em funcionamento e respetivos fluxos de resíduos para o ano de 2017.

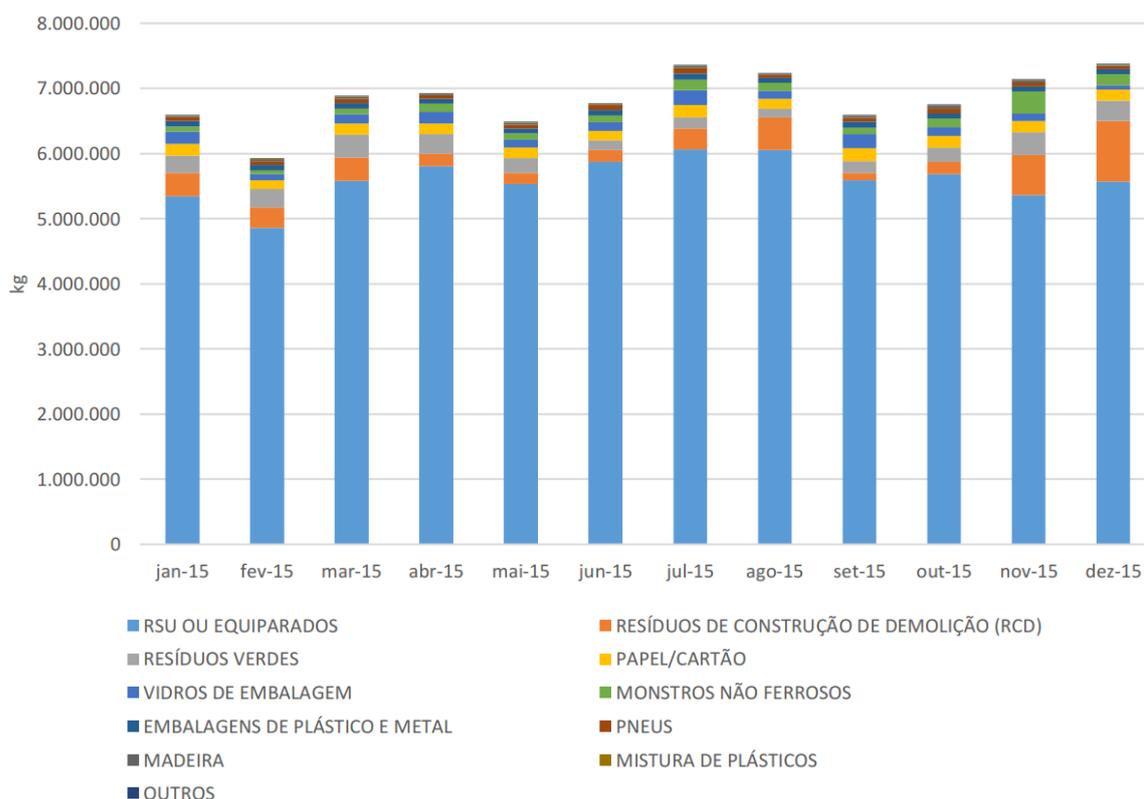


Figura 25 - Quantidades mensais de matéria residual rececionada (2015). (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

Matéria Residual Depositada em Aterro

O processo utilizado na deposição de RSU no aterro da GESAMB é o habitualmente utilizado neste tipo de instalações: a descarga dos resíduos é feita diretamente na frente de trabalho que estiver em uso sendo posteriormente espalhados e compactados com o equipamento de operação.

Em 2015 foram depositadas cerca de 41,2 mil toneladas de matéria residual em aterro sanitário (perto de 13 mil toneladas correspondem a resíduos dispostos diretamente em aterro, a outra fração a resíduos provenientes da UTMB). Na tabela seguinte resumem-se os dados respeitantes aos anos de 2014 e 2015.

Tabela 8 - Quantidades anuais de material rececionado e depositado em aterro (2014-2015).

Ano	Total rececionado (t)	Fração depositado em aterro	
		t	%
2014	80 965	66 712	82,4
2015	81 994	41 189	50,2

Matéria Residual Valorizável

Os resíduos provenientes da rede de Recolha seletiva são encaminhados, depois de processados, para entidades retomadoras que se dedicam à respetiva valorização. No ano 2015 foram rececionadas 10 184 toneladas desse material, e o 71,9% (7 320) foram processados e encaminhados para valorização. Os valores quantitativos associados a cada tipo de resíduo são apresentados na seguinte tabela.

Tabela 9 - Material rececionado (recolha seletiva).

Matéria Residual	Quantidade (t)
Vidro	1 730,3
Madeira	304,2
Pneus-mistura	725,6
Papel / Cartão	2 011,3
Embalagens de plástico e metal	1 015,3
Monstros ferrosos	21,1
Equipamento elétrico	22,7
Pilhas / acumuladores	0,1
Mistura de plásticos	91,8
Óleo alimentar usado	9,3
Óleo mineral usado	3,4
Resíduos de construção e demolição	4 249,0
Total	10 184

Matéria Residual Processada na UTMB

A Unidade de Tratamento Mecânico Biológico, processou em 2015, 57 664 toneladas de RSU indiferenciados. O balanço de massa associado a esta unidade é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Entradas e saídas de material (RSU Indiferenciados) na UTMB (2015).

Entrada de matéria residual (t)	57 664
Saídas	
Compostagem (t)	27 506
Refugos (t)	28 434
Recicláveis (t)	1 724

Além da linha de processamento de RSU indiferenciados, a UTMB é constituída por uma linha de triagem multimaterial (LTM) destinada a processar os resíduos de embalagem de plástico e metal provenientes da recolha seletiva. Através dessa linha foram processadas, em 2015, 774 toneladas deste material, com uma recuperação de cerca de 60% (464,4 toneladas). Também a UTMB além de produzir composto e CDR, tem como fim a produção de “fardos” de material valorizável, a partir da linha de RSU indiferenciados e da linha de triagem multimaterial.

Matéria Submetida ao Processo de Compostagem

Em concordância com o exposto na tabela anterior, em 2015 foram submetidas ao processo de compostagem, 27 506 toneladas de RSU separados na UTMB. Na Tabela 11 apresentam-se as quantidades mensais, referentes ao ano de referência.

Tabela 11 - Quantidades mensais de RSU separados na UTMB.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
994	1 325	2 153	1 932	1 932	3 000	1 811	2 010	2 385	1 720	3 875	4 369	27 506

A esta quantidade acresce cerca de 2730 toneladas de resíduos verdes. O material é processado por um triturador de verdes a gásóleo, e é utilizado como material estruturante nos tuneis de compostagem.

Produção de CDR

A linha de produção de CDR na GESAMB foi instalada em março de 2015, tendo sido concluída em setembro do mesmo ano. Entre outubro e o final de 2015 a linha registrou alguns períodos de funcionamento. Contudo, as dificuldades de escoamento deste produto e os respetivos custos operacionais associados levaram a que a operação desta linha tivesse sido temporariamente suspensa. Neste contexto, é necessário melhorar a qualidade do produto final, promovendo menores níveis de humidade no mesmo.

Tratamento de Lixiviados

O aterro sanitário como destino final dos RSU é uma das formas mais económicas de tratar os mesmos. Um aspeto importante é a capacidade que se tem para reter, captar, tratar e monitorizar o lixiviado produzido.

As águas lixiviantes, decorrentes da infiltração de águas pluviais no aterro, são encaminhadas para tratamento em duas Estações de Tratamento de Águas Lixiviantes (ETAL).

Na GESAMB existem duas ETAL, a “ETAL I” que conta com capacidade para tratar $60 \text{ m}^3/\text{dia}$; e a “ETAL II”, com uma capacidade para tratar $120 \text{ m}^3/\text{dia}$. O tratamento é realizado por osmose inversa em ambas instalações. O resumo dos dados de produção referentes aos anos de 2014 e 2015, é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Tratamento de lixiviados (ETAL – GESAMB 2014 e 2015).

Parâmetro	ETAL I		ETAL II		Total instalação	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Entrada de Lixiviado (m^3)	18.003	11.853	33.425	24.430	51.428	36.283
Saída de Permeado (m^3)	10.526	5.498	22.833	10.727	33.359	16.225
Rendimento	58,5	46,4	68,3	43,9	64,9	44,7
Horas funcionamento unidade (h)	6.426	4.428	7.243	5.255	13.669	9.683
Disponibilidade ETAL	73	51	83	60	-	-
Caudal de lixiviado tratado (m^3/h)	2,8	2,7	4,6	4,6	3,8	3,7
Caudal de lixiviado tratado (m^3/dia)	67	64	111	112	90	90

Destinos

A distribuição relativa dos destinos (diretos) dos RSU entre 2012 e 2017 em Portugal, é apresentada na Figura 26.

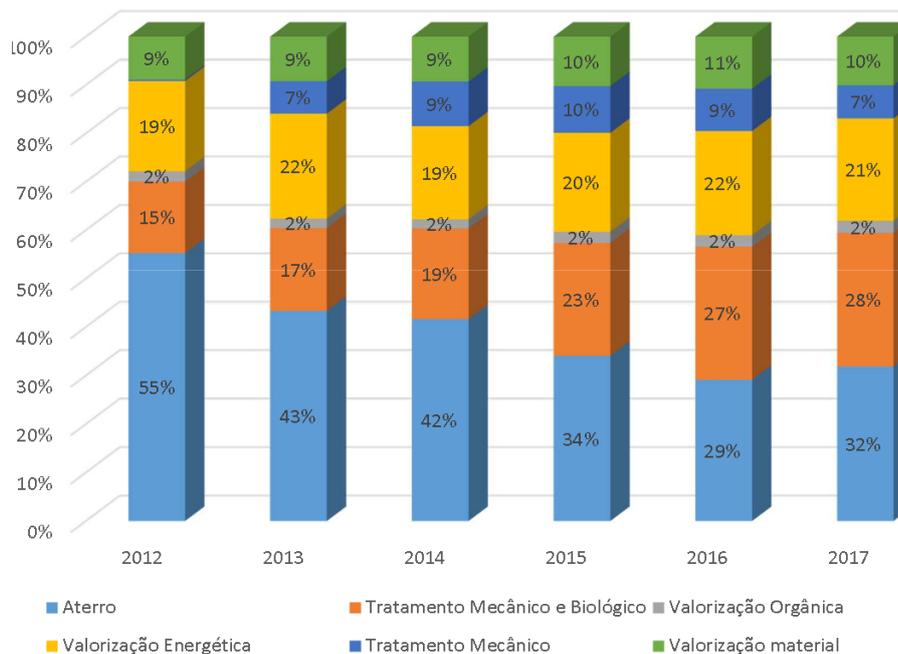


Figura 26 - Destino dos RSU. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.2.2. Resíduos sólidos urbanos – Associação de Municípios do Alentejo Central (AMCAL)

AMCAL é a empresa que gere os RSU da região situada na Zona Central do Alentejo, compreendendo cinco concelhos com 26 518 habitantes, dos quais três concelhos pertencem ao distrito de Beja (Cuba, Alvito e Vidigueira) e dois ao distrito de Évora (Portel e Viana do Alentejo). Nesta região são produzidas cerca de 12 500 toneladas de RSU por ano.

A infraestrutura da empresa AMCAL é formada por:

- 1 Aterro sanitário, localizado em Vila Ruiva no conselho de Cuba;
- 1 Estação de Triagem, localizada em Vila Ruiva no conselho de Cuba;
- 5 Ecocentros, localizados em Portel, Viana do Castelo, Alvito, Vidigueira e Cuba;
- 2 Estações de transferência, localizadas em Portel e Vidigueira.

O aterro sanitário encontra-se localizado na EM 258 ao km 5,33, em Vila Ruiva, concelho de Cuba. Tem um volume total de 337 063 km³, a que corresponde um período de vida de 20 anos, sendo o mais pequeno sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos do país. Encontra-se em funcionamento desde junho de 1999, e permitiu a selagem de 16 lixeiras, até meados de 2001.

Ao invés da grande maioria dos sistemas a AMCAL é a responsável pela gestão exclusiva do Aterro Sanitário e do Centro de Triagem, sendo da responsabilidade dos municípios associados a gestão dos Ecopontos, dos Ecocentros e das Estações de Transferência. De facto, esta realidade resulta de cada município possuir um Ecocentro, e de não existirem Estações de Transferência comuns a vários concelhos.

Em 2017, foram recolhidas quase 12 500 toneladas de resíduos pela empresa AMCAL. A seguir na Figura 27 apresenta a evolução da capitação de resíduos sólidos urbanos pela AMCAL.

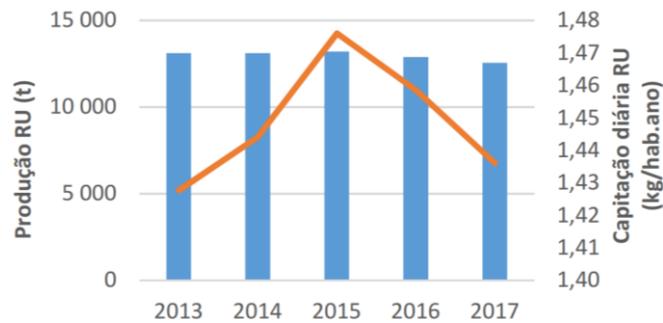


Figura 27 - Evolução da capitação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa AMCAL. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

A Figura 28 apresenta as percentagens do encaminhamento e dos destinos finais dos RSU processados pela AMCAL.

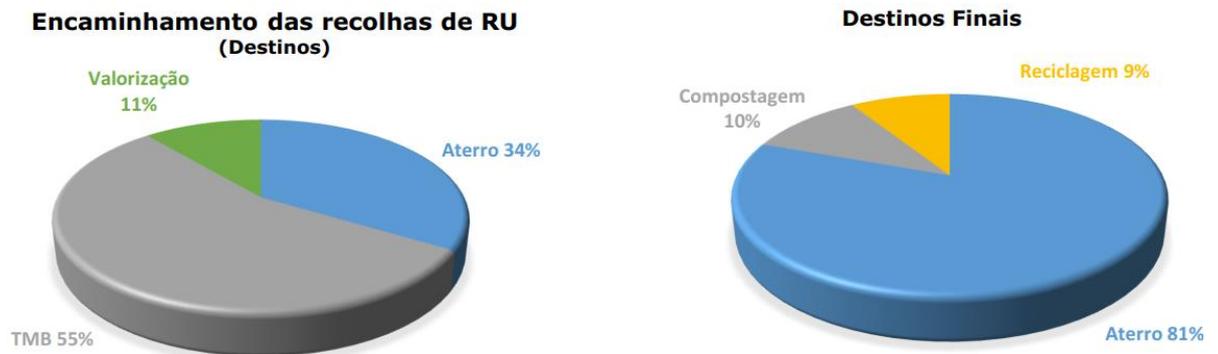


Figura 28 - Destinos finais dos RSU captados pela empresa AMCAL. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.2.3. Resíduos sólidos urbanos - RESIALENTEJO

A empresa RESIALENTEJO trata dos RSU dos concelhos de Almodôvar, Barrancos, Beja, Castro Verde, Mértola, Moura, Ourique e Serpa. A Central de Tratamento Mecânico e Biológico (CTMB), recebe cerca de 30 799 toneladas por ano de RSU. A RESIALENTEJO dispõe da seguinte infraestrutura:

- 1 Aterro Sanitário localizado em Herdado do Montinho no Distrito Beja;
- 1 Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico;
- 1 Estação de Triagem localizada em Herdado do Montinho no Distrito Beja;
- 5 Ecocentros localizados em Barrancos, Beja, Serpa, Castro Verde e Mértola.

Em 2017, foram processadas quase 46 000 toneladas de resíduos. A Figura 29 apresenta a evolução da capitação de resíduos sólidos urbanos pela empresa.

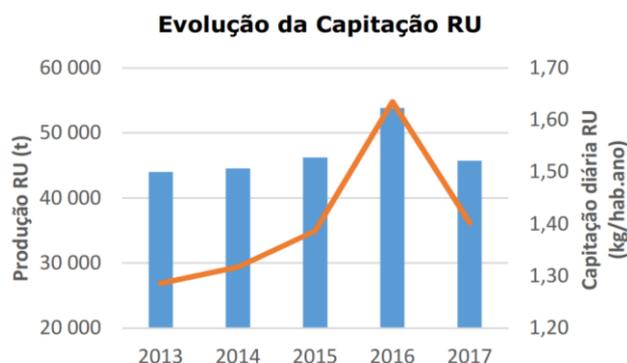


Figura 29 - Evolução da capitação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa RESIALENTEJO. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

A Figura 30 apresenta as percentagens do encaminhamento e a dos destinos finais dos RSU capitados pela empresa RESIALENTEJO.

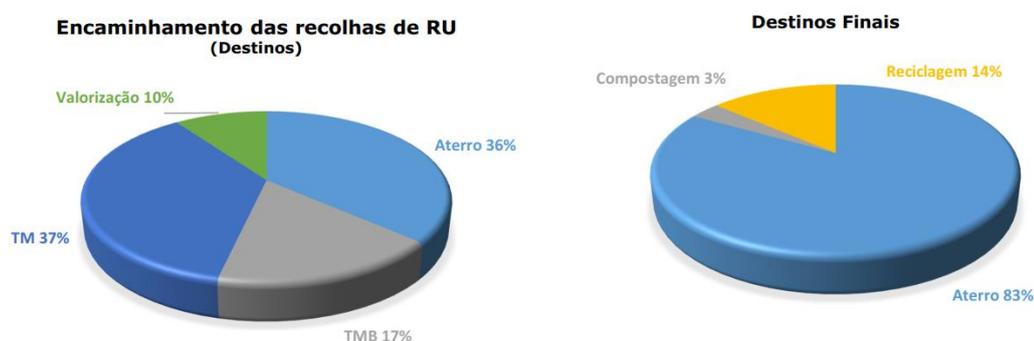


Figura 30 - Destinos finais dos RSU capitados pela empresa RESIALENTEJO. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.2.4. Resíduos sólidos urbanos - AMBILITAL

A AMBILITAL desenvolve a sua atividade nos municípios de Alcácer do Sal, Aljustrel, Ferreira do Alentejo, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém e Sines, numa área de 6 416 km² com uma população de 115 437 habitantes, responsável pela produção aproximada de 60 mil toneladas anuais de RSU.

A infraestrutura da AMBILITAL no litoral do Alentejo é composta por:

- 1 Aterro sanitário localizado em Ermidas-Sado em Santiago do Cacém;
- 1 Unidade de Tratamento Mecânico Biológico localizada em Ermidas-Sado em Santiago do Cacém;
- 2 Unidades Produção de CDR;
- 1 Estação de Triagem localizada em Ermidas-Sado em Santiago do Cacém;
- Ecocentros localizados em Alcácer do Sal, Aljustrel, Ferreira do Alentejo, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém e Ermidas-Sado.

No ano de 2017 foram processadas quase 62 000 toneladas de resíduos pela empresa. A Figura 31 apresenta a evolução da capitação de resíduos sólidos urbanos pela empresa.

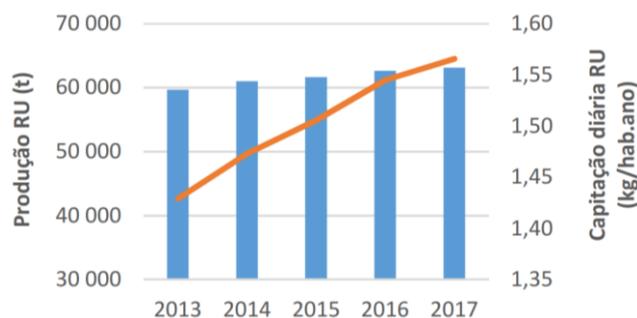


Figura 31 - Evolução da capitação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa AMBILITAL. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

A Figura 32 apresenta as percentagens do encaminhamento e destino final dos RSU processados pela empresa AMBILITAL.

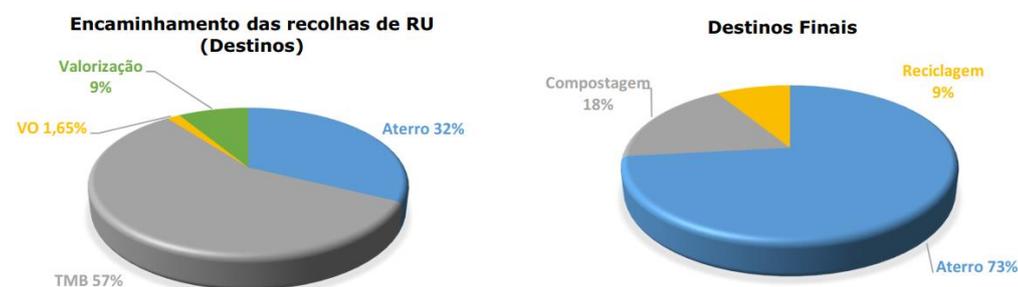


Figura 32 - Destinos finais dos RSU capitados pela empresa AMBILITAL. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.2.5. Resíduos sólidos urbanos – VALNOR

A VALNOR desenvolve a sua atividade nos municípios de Abrantes, Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo Branco, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Idanha-a-Nova, Mação, Marvão, Monforte, Nisa, Oleiros, Ponte de Sor, Portalegre, Proença-a-Nova, Sardoal, Sertã, Sousel, Vila de Rei e Vila Velha de Ródão, numa área de 11 980 km² com uma população de 249 762 habitantes, responsável pela produção aproximada de 115 mil toneladas anuais de RSU.

A infraestrutura da VALNOR no norte do Alentejo é composta por:

- 2 Aterros sanitários localizados em Avis e Castelo Branco;
- 1 Unidade de Tratamento Mecânico Biológico localizada em Avis;
- 2 Unidades Produção de CDR;
- 2 Centrais de Triagem localizadas em Avis e em Castelo Branco;
- 15 Ecocentros.

No ano de 2017 foram processadas cerca de 116 000 toneladas de resíduos pela empresa. A Figura 33 apresenta a evolução da capitação de resíduos sólidos urbanos pela empresa.



Figura 33 - Evolução da capitação de RSU desde 2013 até 2017 pela empresa VALNOR. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

A Figura 34 apresenta os valores relativos ao encaminhamento e destino final dos RSU processados pela empresa VALNOR.

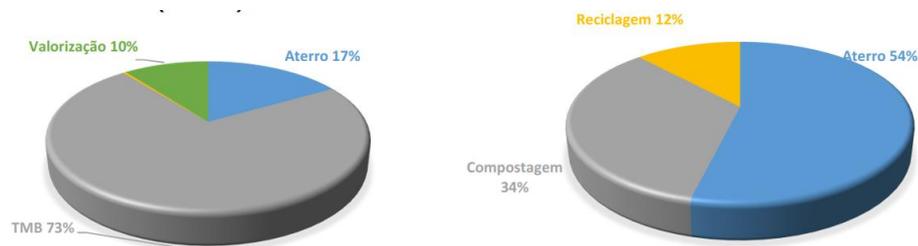


Figura 34 - Destinos finais dos RSU coletados pela empresa VALNOR. (Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente).

4.2.6. Águas residuais – Águas Públicas do Alentejo

A Águas Públicas do Alentejo (AgdA), foi constituída em 2009, sendo a encarregada da gestão de forma integrada, dos serviços de abastecimento de água para o consumo público e do saneamento de águas residuais dos municípios de Alcácer do Sal, Aljustrel, Almodôvar, Alvito, Arraiolos, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Grândola, Mértola, Montemor-o-Novo, Moura, Odemira, Ourique, Santiago do Cacém, Serpa, Vendas Novas, Viana do Alentejo e Vidigueira. O sistema integrado de saneamento de Águas Residuais abrange 169 783 habitantes.

As infraestruturas associadas ao tratamento das águas residuais sob gestão da empresa Águas Públicas do Alentejo encontram-se divididas de acordo com o apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Perfil do sistema de saneamento de Águas Residuais no ano 2016 da empresa AgdA. (Fonte: AgdA).

Perfil do sistema de saneamento de águas residuais:	
Estações de tratamento de águas residuais	106
Fossas sépticas coletivas	22
Licenciamento de descargas	52
Comprimento total de coletores	123
Estações elevatórias	29
Emissários submarinos	0
Índice de conhecimento infraestrutural (em 200)	125
Índice de gestão patrimonial de infraestruturas (em 200)- em teste	2
Índice de medição de caudais (em 200) – em teste	11

Das 106 estações de tratamento de águas residuais da AgdA, só 22 estão em operação, sendo 2 em Vendas Novas, 3 em Serpa, 2 em Aljustrel, 2 em Santiago do Cacém, 1 em Montemor-o-Novo, 1 em Alcácer do sal, 1 em Viana do Alentejo, 1 em Alvito, 1 em Grândola, 1 em Moura, 1 em Vidigueira, 1 em Beja, 1 em Castro Verde, 1 em Mértola, 1 em Almodôvar, 1 em Odemira e 1 em Ourique.

4.2.7. Águas residuais – Águas de Santo André

A Águas de Santo André, é a empresa que trata as águas residuais dos concelhos de Santiago do Cacém e Sines. Este sistema de águas residuais desenvolve-se numa área retangular, de cerca de 104 km², e tem como objeto a recolha, transporte, tratamento e descarga final das águas residuais urbanas, industriais e salinas produzidas na área de influência da concessão. A este sistema afluem diferentes tipologias de água residual, de acordo com a sua origem:

- água residual urbana (ARU), proveniente da freguesia de Santo André e de parte da cidade de Sines;
- água residual industrial (ARI), proveniente das empresas instaladas na Zona Industrial e Logística de Sines (ZILS);
- água residual salina (ARS), proveniente do sistema de desmineralização e de purgas das torres de refrigeração das unidades de produção das empresas Petrogal, e Repsol, Artlant e Air Liquide, estabelecidas na Zona Industrial e Logística de Sines;
- água residual lixiviada proveniente de Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos; e,
- água residual proveniente de fossas sépticas de clientes pontuais.

O sistema é, em linhas gerais, constituído por:

- 1 rede de drenagem, com vários emissários, que, na sua totalidade, apresentam uma extensão de cerca de 62 km;
- 11 estações elevatórias;
- 1 estação para injeção de oxigénio;
- 2 bacias de retenção com capacidade para 5.000 m³ e 7.000 m³;
- 1 Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR); e,
- 1 emissário submarino com 2,4 km.

Uma das principais componentes do sistema de Água Residual é a ETAR de Ribeira dos Moinhos, que se localiza na margem direita da Ribeira dos Moinhos, a norte da cidade de Sines. Esta ETAR foi concebida tendo em vista o tratamento das águas residuais industriais da ZILS em conjunto com as águas residuais urbanas de Sines, da Cidade de Vila Nova de Santo André e, futuramente, de Santiago do Cacém. Atualmente, para além da água residual industrial, é recebida a água residual urbana da cidade de Vila Nova de Santo André, da cidade de Santiago do Cacém e parte da água residual da cidade de Sines.

A ETAR, que ocupa uma área de cerca de 9,2 ha, no seu projeto inicial, foi dimensionada para um caudal de 2 m³/s, tendo sido executada apenas a primeira fase, para um caudal nominal de 0,5 m³/s e para uma população equivalente de 360 000 habitantes-equivalentes. Entrou em funcionamento em 1981 e trata, atualmente, em média, cerca de 0,25 m³/s.

O processo de tratamento utilizado é o de lamas ativadas por arejamento convencional (em média carga), cuja linha processual é constituída por tratamento da fase líquida, tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e por ultimo o tratamento de fase sólida.

4.2.8. Águas residuais – Águas do Centro do Alentejo

A Águas do centro do Alentejo é a empresa que faz o tratamento de águas residuais das áreas urbanas do distrito de Évora. Existem, no total, 15 sistemas de tratamento sendo 13 ETAR e 2 fossas sépticas.

Os processos de tratamento variam segundo as características da água também segundo os volumes, as condicionantes locais e necessidades existentes nas diferentes áreas urbanas. No concelho são usados os seguintes processos: lamas ativadas, lagoas de estabilização e fossa séptica com/sem órgão complementar. A ETAR de Évora é do tipo lamas ativas, sendo o volume das águas residuais tratadas nesta ETAR corresponde a cerca de 80% do total tratado no concelho. As povoações rurais dispõem de diversos sistemas de tratamento, sendo os processos mais vulgares as lagoas de estabilização e lamas ativadas.

4.3. Andaluzia

Em 1984, operavam na Andaluzia 55 estações de tratamento. Em 2016, o número de estações de tratamento é de 695, considerando tanto as construídas (668) quanto as em construção (27). Estas estações de tratamento beneficiam uma população de 7 118 859 pessoas, representando 87,6% da população total na Andaluzia. A distribuição das estações de tratamento por província andaluza é apresentada na Figura 35.

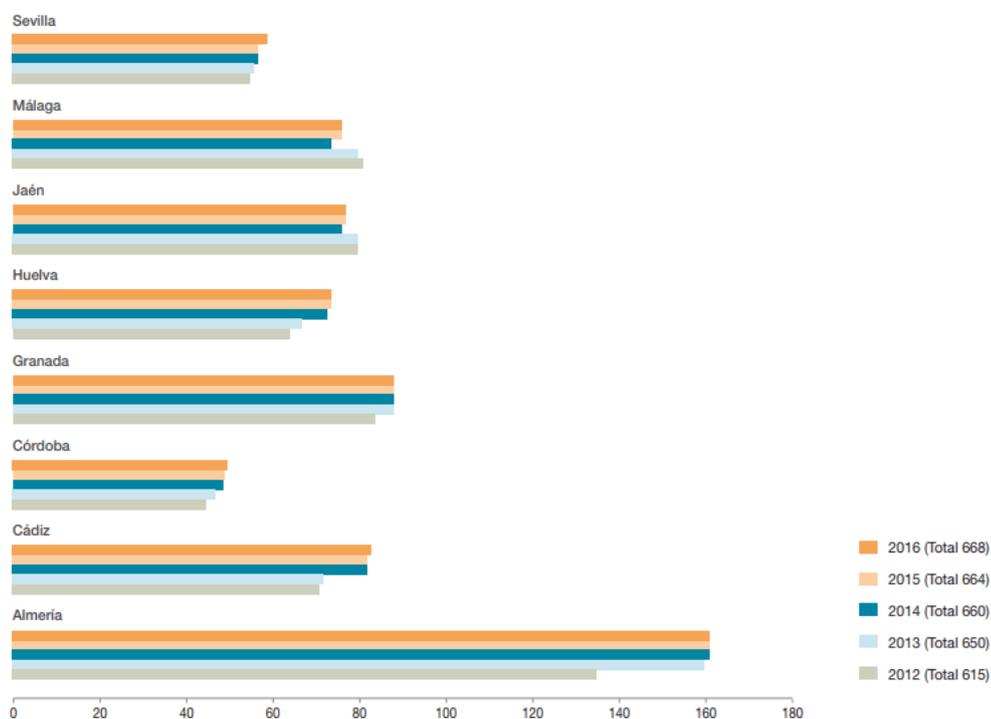


Figura 35 - Estações de tratamento de águas residuais na Andaluzia. Número de estações de tratamento de água construídas. (Fonte: *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio*).

A Tabela 14 mostra o número de centrais de tratamento por tecnologia para populações com mais de 2 000 habitantes. Esta faixa populacional é selecionada pois tipicamente, para populações de menor dimensão, a implementação de sistemas de secagem térmica não se apresenta como uma opção tecnicamente e economicamente viável.

Tabela 14 - Número de estações de tratamento para populações (>2 000 habitantes). (Fonte: *Junta de Andalucía*).

Cuenta de Tratamiento secundario Rótulos de fila	Rótulos de columna								Total general
	Almería	Cádiz	Córdoba	Granada	Huelva	Jaén	Málaga	Sevilla	
Biofiltración en lechos inundados		2							2
Contactador biológico rotativo	7	6	7	6		7	7		40
Decantación secundaria						7			7
Fangos activos alta o media carga sin nitrificación	9	35	13	27	17	12	30	38	181
Fangos activos baja carga con nitrificación-desnitrificación	40	8	17	7	32	16	30	22	172
Fangos activos con eliminación biológica de N y P							2		2
Filtro de turba	19	2	1	10		1	2	4	39
Filtro percolador	8	13	1	6	7	5	8	8	56
Humedal artificial					1			1	2
Laguna de estabilización							1		1
Laguna facultativa	21		1			1	2	1	26
MBR	5								5
Total general	109	66	40	57	64	41	82	74	533

A Figura 36, apresenta as localizações das 387 estações de tratamento de águas residuais na Andaluzia.

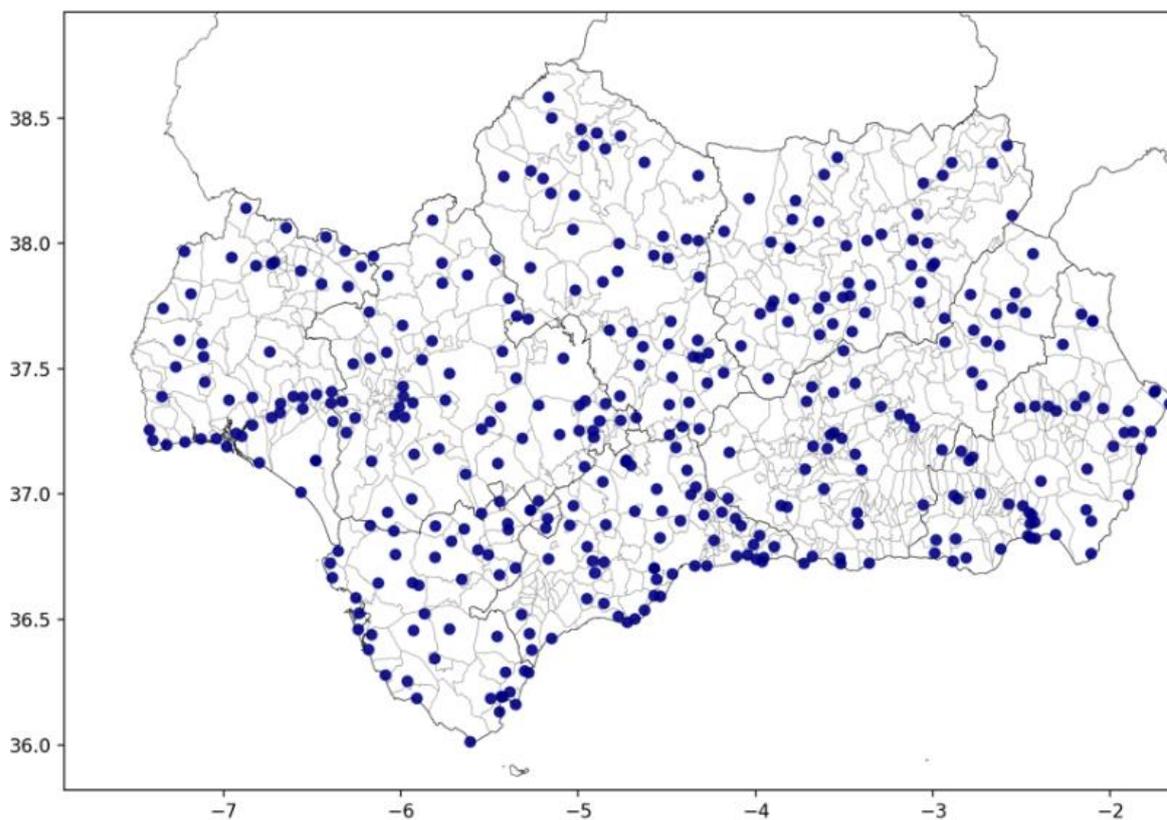


Figura 36 - Estações de tratamento de águas residuais na Andaluzia. (Fonte: Solarconcentra- Solatom CSP s.l).

A Tabela 15 apresenta a distribuição de ETAR conectadas com capacidades superiores a 2 000 habitantes equivalentes de acordo com o tipo de tratamento aplicado e respetivo tratamento de carga contaminante.

Tabela 15 - Tratamentos utilizados nas províncias da Andaluzia. (Fonte: CENTA).

Província	População	Com tratamento primário	Com tratamento secundário	Com tratamento mais rigoroso do que o secundário
ALMERIA	686 475	34	34	4
CADIZ	1 570 836	41	40	12
CORDOBA	935 436	34	34	12
GRANADA	937 174	26	26	6
HUELVA	648 844	36	32	19
JAEN	525 614	32	31	5
MALAGA	2 159 947	43	42	21
SEVILLA	2 335 382	39	39	17
Total geral	9 799 708	285	278	85

Para entender a estrutura da administração pública do tratamento de águas residuais e a distribuição territorial das ETAR na região da Andaluzia é preciso considerar o exposto na Lei 9/2010, de 30 de julho. Esta lei regulamenta, entre outros, o ciclo integral da água, no qual se encontra enquadrado a depuração de águas residuais urbanas, compreendendo a sua interceção e transporte, o seu tratamento e a disposição do efluente nas massas de água continentais ou marítimas. Esta lei regula igualmente o exercício das competências da Comunidade Autónoma e das entidades locais andaluzas no tratamento das águas, a fim de alcançar sua proteção e uso sustentável, determinando as responsabilidades dos Municípios em matéria de recursos hídricos, gestão e prestação de serviços, no ciclo integral da água para uso urbano, bem como o tratamento de águas residuais urbanas.

A lei estabelece que os serviços dos municípios podem ser tratados por eles ou através de conselhos provinciais (diputaciones provinciales) e entidades supramunicipais. Os serviços de água assumidos pelas entidades supramunicipais devem ser fornecidos sob quaisquer das formas de gestão direta ou indireta previstas na legislação atual. Por tanto, em cada província da Andaluzia, os municípios com gestão própria das ETAR coexistem com outros que partilham a sua gestão com entidades supramunicipais ou conselhos provinciais. Seguidamente apresentam-se os principais sistemas de gestão supramunicipal nas províncias de Huelva, Sevilha e Cádiz (objeto de estudo do projeto SECASOL).

PROVÍNCIA DE HUELVA

Nesta província existem atualmente 74 ETAR. A empresa GIAHSA gere enquanto entidade supramunicipal a maioria das ETAR na província. A Empresa Municipal de Aguas de Huelva, S. A. (EMAHSA) trata a totalidade das águas residuais da cidade de Huelva. Esta ETAR destina-se a servir uma população estimada em 180 000 habitantes, com um fluxo diário de 58 500 m³.

PROVÍNCIA DE SEVILHA

Em Sevilha encontram-se os seguintes operadores no âmbito do tratamento de águas residuais: Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A. (EMASESA), ALJARAFESA, PLAN ÉCIJA e AGUAS DEL HUESNA.

A EMASESA possui seis ETAR, com capacidade de tratamento de mais de 494 000 m³/dia. Destas ETAR, 5 estão afetas a 11 municípios da Área Metropolitana de Sevilha: El Copero, Ranilla, San Jerónimo, Tablada e El Ronquillo. Acresce que a EMASESA presta ainda serviços às cidades de Coria del Río e Pueblo del Río, embora as águas residuais sejam

tratadas na ETAR de Guadalquivir, administrada pela ALJARAFESA. Além disso, partilha a gestão da ETAR de Alcores com a AGUAS DEL HUESNA, localizada no município de Mairena del Alcor.

A empresa pública ALJARAFESA gere o tratamento das águas residuais em 29 municípios do Aljarafe sevilhano, pertencente à entidade intermunicipal do Aljarafe. Tem 5 estações de tratamento localizadas em Aznalcóllar, Castilleja del Campo, Palomares del Rio (Guadalquivir), Aznalcázar (Guadamar I) e Villamanrique de la Condesa (Guadamar II). Também serve a cidade de Carrión de los Céspedes, cujas águas residuais são tratadas nas instalações do Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA). Nesta última central, o tratamento das águas é desenvolvido principalmente com recurso a tecnologias extensas ou verdes (por exemplo, tecnologias de zonas húmidas artificiais ou lagoas). Esta central é classificada como centro experimental, tendo sido financiada e operada pela Junta da Andaluzia através do CENTA. Na estação de Palomares del Rio é utilizada a tecnologia convencional de lamas ativadas, embora tenha um tratamento físico-químico com nitrificação e desnitrificação.

É importante ainda referir que as ETAR de Aznalcázar e Villamanrique de la Condesa são responsáveis pelo tratamento das águas residuais provenientes de 5 municípios que utilizam a bacia de Guadamar para deposição dos resíduos do tratamento. Essas descargas ocorrem em áreas do Parque Nacional de Doñana, uma zona classificada como “sensível” pela regulamentação em vigor, forçando a que estas ETAR, de características semelhantes, utilizem um sistema de tratamento de aeração prolongada de baixa carga, do tipo carrossel, com zona anóxica e desidratação de lamas.

PLAN ÉCIJA

O consórcio de abastecimento e saneamento de águas Plan Écija, é um consórcio que abrange 15 municípios, gerindo o ciclo integral da água a uma população aproximada de 200 000 habitantes. Este consórcio, através da Agencia de Régimen Especial del Ciclo integral del Agua del Retortillo (ARECIAR) opera 12 ETAR: Arahal; Écija; El Rubio; Fuentes de Andalucía; Herrera; La Campana; Lantejuela; Marchena; Morón de la Frontera; Osuna; Paradas; La Puebla de Cazalla.

AGUAS DEL HUESNA

A AGUAS DEL HUESNA S.L. é uma empresa pública detida pelo Consorcio de Aguas del Huesna que serve 17 municípios localizados maioritariamente na Vega del Guadalquivir, Bajo Guadalquivir e Sierra Norte, operando 11 ETAR: Alcores (El Viso del Alcor); Brenes; Carmona; El Coronil; El Cuervo; Las Cabezas; Lebrija; Los Palacios y Villafranca; El Pedroso; El Real de la Jara; Utrera.

PROVÍNCIA DE CÁDIZ

Na província de Cádiz, as principais empresas públicas com serviços de depuração de águas residuais multimunicipais são a AGUAS SIERRA DE CÁDIZ e a CAMPO DE GIBRALTAR.

A ETAR de Cádiz – San Fernando, recebe e trata as águas residuais das cidades de Cádiz e San Fernando. Esta estação de tratamento, localizada no município de Cádiz, tem uma capacidade de tratamento para 375 000 habitantes e um fluxo médio diário de 75 000 m³/dia.

Atualmente, os destinos das lamas de esgoto na Andaluzia são os seguintes (Plano Diretor Territorial de Gerenciamento de Resíduos não perigosos na Andaluzia, 2010-2019):

- Compostagem: no total, cerca de 160 000 t/ano de biossólidos são compostados na Andaluzia, embora o processo de tratamento seja mais comparável à estabilização aeróbica do que a uma compostagem adequada.
- Aplicação direta: conforme indicado pelo Real Decreto 1310/1990, de 29 de outubro, que regulamenta o uso das lamas no setor agrícola, é permitido a aplicação de lamas do tratamento de AR no campo, desde que cumpridos os requisitos estabelecidos neste Real Decreto. Recentemente um novo regulamento na Andaluzia (Orden de 6 de agosto de 2018, conjunta da Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural e da Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio), passou a regular a utilização de lamas tratadas e provenientes do tratamento de águas residuais no sector agrícola, estabelecendo as seguintes condições mínimas para a secagem térmica de lamas destinadas a usos agrícolas: tratamento a temperatura mínima de 80 °C durante 10 minutos ou 70 °C durante 30 minutos, obrigando à existência de uma fração de matéria seca superior a 90% no final do tratamento.
- Na Andaluzia existem várias empresas que gerem as lamas de diferentes ETAR e realizam sua aplicação direta. Atualmente, estima-se que cerca de 156 000 t/ano de biossólidos são dispostos por meio de aplicação direta.
- Aterro controlado: o depósito de lodo de esgoto em aterros de resíduos urbanos não é frequente. Atualmente, apenas os biossólidos produzidos nas estações de tratamento de pequenos municípios são destinados a aterros sanitários.

O uso final para as lamas produto do tratamento de águas residuais na Espanha é para uso agrícola, como apresentado na Figura 37.

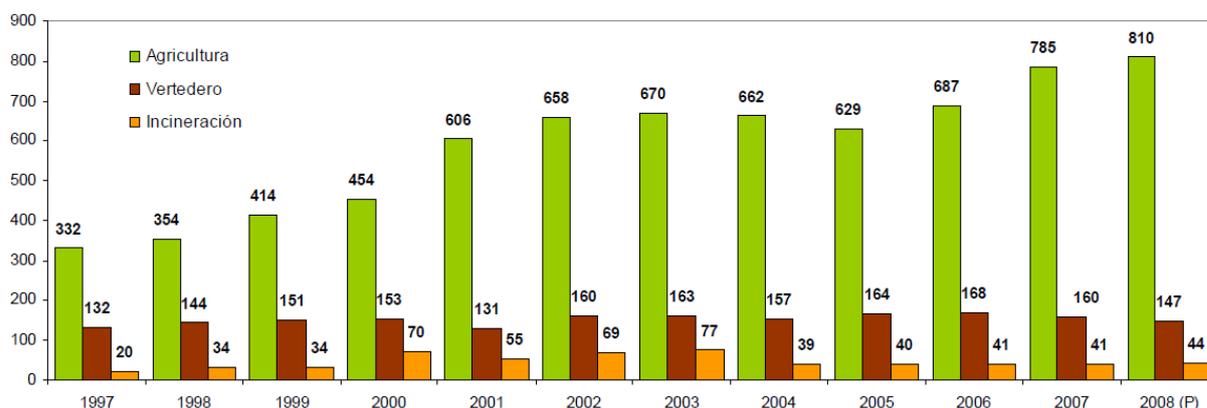


Figura 37 - Destino final das lamas produzidas no tratamento de águas residuais (milhares de toneladas de matéria seca). (Fonte: *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*).

Na Andaluzia, são produzidas 416 000 t/ano de lamas, das quais 60,9% são utilizadas na agricultura, 0,3% encaminhadas para aterro, 34,1% em compostagem, 0,6% energia e 4,1% em outras aplicações. Para o sector agrícola, as lamas provenientes da depuração de águas residuais são utilizadas é como fertilizante.

4.3.1. Instalações de secagem de lamas térmicas (biossólidos) na Andaluzia

A ETAR de Guadalhorce, gerida pela *Empresa Municipal Aguas de Málaga* (EMASA), é a estação de tratamento mais importante de Málaga, tanto em termos do tamanho das instalações como ao nível do volume de água a tratar. Localiza-se na parte ocidental da cidade, junto ao rio do qual leva o seu nome. Nesta estação chegam as águas residuais do centro, norte e oeste da cidade, assim como o saneamento integral de Churriana, Campanillas, Puerto de la Torre e do município de Torremolinos e Alhaurín de la Torre, correspondendo a um volume de tratamento de aproximadamente 165 000 m³ por dia.

O processamento da linha de água consiste em um pré-tratamento seguido por uma decantação primária (10 unidades retangulares) e, subsequente, por um processo biológico de tratamento por lamas de meia carga ativada (5 reatores) com decantação secundária (10 unidades retangulares).



Figura 38 - Tratamento de águas residuais em Guadalhorce. (Fonte: EMASA).



Figura 39 - ETAR de Guadalhorce. (Fonte: EMASA).

Esta instalação contempla também uma Estação de Tratamento Terciário e de Ultrafiltração para obter água recuperada que será posteriormente utilizada na central elétrica do Parque Tecnológico, bem como por outros consumidores. Quanto à linha de lamas, esta apresenta um sistema de espessamento por gravidade para as lamas primárias e sistema de centrifugação espessante para as lamas biológicas. Tratamento da digestão termofílica aeróbia precedendo à digestão anaeróbica mesofílica. Desidratação posterior de lamas com centrifugadoras de decantação para desidratação mecânica.

Verifica-se ainda a existência de uma Central de Cogeração de 10 MW de potência e um sistema de secagem térmica das lamas por meio de 2 túneis de baixa temperatura, com o qual são obtidas lamas com cerca de 8% de humidade permitindo assim uma significativa redução da quantidade de lama produzida e a sua utilização como fonte de energia.

4.3.2. Estações de tratamento de resíduos sólidos urbanos de Huelva

A central de tratamento de RSU de Villarrasa, esta localizada no “Dehesa del Boyal” na estrada A-493, La Palma del Condado - Valverde del Camino. (P.K. 19). 21850 VILLARRASA – HUELVA (Figura 40).



Figura 40 - Central de tratamento de Villarasa.

Na Andaluzia existe ainda outro centro de tratamento de RSU em Andévalo, localizado na estrada A-476, em Tharsis-Puebla de Guzmán, P.K. 58,4 21520 / 21550 – Alosno/Puebla de Guzmán– (Huelva) (Figura 41).



Figura 41 - Central de tratamento de RSU do Andevalo.

5. RECURSO SOLAR E POTENCIAL DE APLICAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRAÇÃO

A radiação solar que atinge uma determinada superfície no planeta Terra, designada como radiação global, é composta por duas componentes: direta e difusa. A radiação direta é aquela que, proveniente do Sol, atinge a superfície sem sofrer dispersão ao longo do seu percurso pela atmosfera. A radiação difusa é composta pela radiação solar incidente na superfície após a sua direção ter sido afetada por fenómenos de dispersão atmosférica ou reflexão. Desta forma, a radiação direta provém da zona do disco solar enquanto a radiação difusa provém de todas as direções do hemisfério.

A determinação da quantidade de radiação solar incidente num determinado local é efetuada pela medição de três grandezas: irradiância global no plano horizontal; irradiância difusa no plano horizontal; irradiância direta no plano normal.

A irradiância global no plano horizontal (GHI) corresponde à potência incidente por unidade de área numa superfície horizontal. Este valor engloba todas as componentes da radiação solar (i.e., a componente direta e difusa), sendo particularmente relevante para o estudo do potencial de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos não concentradores.

A irradiância difusa no plano horizontal (DHI) é a potência incidente de radiação difusa por unidade de área numa superfície horizontal da radiação solar, ou seja, de radiação proveniente de todo o hemisfério com exceção do disco solar.

A irradiância direta no plano normal (DNI) corresponde à potência incidente de radiação direta por unidade de área numa superfície que é sempre mantida na perpendicular em relação à direção do disco solar. Esta grandeza é de extrema importância para o estudo do potencial de utilização de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos com concentração, sendo a métrica mais usual para aferir o recurso solar para aplicações com concentradores.

Considerando o atual estado da arte das tecnologias de concentração solar térmica e da sua comercialização para fins de produção de eletricidade, é usual assumir como regra geral que para serem economicamente viáveis as tecnologias concentradoras requerem valores de DNI iguais ou superiores a $2\,000\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ ano})$, apesar de ser tecnicamente viável a instalação e operação de centrais com valores inferiores. No entanto, este patamar mínimo depende de diversos fatores e deverá ser avaliado caso a caso. Por outro lado, a aplicação de tecnologias concentradoras para fins térmicos, como a secagem, poderá permitir considerar como viáveis localizações com menor DNI anual. Desta forma, por forma a evitar a complexidade associada a considerações de índole económica que resultariam na necessidade de uma análise caso-a-caso, a problemática da avaliação do potencial será abordada de duas formas: estimando a irradiação anual disponível para operação do sistema; estimando a quantidade de matéria processada por metro quadrado de coletor instalado.

Radiação solar e clima em Portugal

Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar. Em termos de insolação, Portugal recebe em média entre 2 200 a 3 000 horas de Sol por ano. O valor médio da irradiação solar global na região sul de Portugal é de $1\,900\text{ kWh}/\text{m}^2\text{ ano}$ (Cavaco et al., 2016). O valor da irradiação direta no plano normal nas regiões do Algarve e do Alentejo pode variar entre aproximadamente $1\,900\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ ano})$ e cerca de $2\,100\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{ ano})$. Observando a distribuição da DNI em Portugal (Figura 42) verifica-se que as zonas mais favoráveis se encontram no Alto e Baixo Alentejo, Algarve e Beira Baixa.



Figura 42 – Distribuição da DNI em Portugal. Fonte: Solargis.

Em janeiro as temperaturas são relativamente baixas e aumentam principalmente de nordeste para sudoeste, registando-se os valores mais baixos no nordeste transmontano e os mais elevados em algumas áreas da costa alentejana e do litoral algarvio. Em julho, a situação altera-se e as temperaturas atingem valores relativamente elevados, chegando até os 22 °C em média para o mês de agosto no litoral sul. Em Portugal continental as temperaturas médias mais baixas são registadas nos meses de dezembro (8,1 °C) e janeiro (7,5 °C) nas terras altas do interior norte e centro. A precipitação média anual tem os valores mais altos no Minho e Douro Litoral, e apresenta os mais baixos valores no interior do Baixo Alentejo. O valor da média de precipitação para Portugal continental é de 150 mm no mês de dezembro e 10,5 mm no mês de julho (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2015).

Radiação solar e clima na Espanha

Também Espanha, pela sua localização geográfica, conta com uma grande disponibilidade de radiação solar. A Figura 43 apresenta a distribuição da DNI em Espanha. Verifica-se que os locais mais favoráveis se encontram em Huelva, Sevilla, Málaga, Granada e Jaén na região de Andaluzia, e em alguns locais das regiões de Extremadura, Castilla la Mancha e Murcia.

Na primavera as províncias do sudeste continental espanhol são as que recebem maior quantidade de irradiância. Não obstante, esse valor máximo vai se movendo para oeste à medida que vai chegando o verão, sendo que no mês de julho a maior quantidade de irradiância encontra-se no sudoeste continental, apresentando as províncias de Huelva, Cádiz

e Sevilla os valores mais elevados. No mês de Agosto a irradiância torna-se mais intensa um pouco mais a norte, na Extremadura e no norte de Toledo (Sancho Ávila et al., 2012).



Figura 43 - Distribuição da DNI em Espanha. Fonte: Solargis.

Os valores médios anuais da temperatura média, variam entre 2,5 °C nas áreas de maior altitude e valores superiores a 17 °C observados nas províncias de Huelva, Sevilha, Cádiz e na parte costeira entre Málaga e Alicante. Os valores da temperatura média mensal atingem valores máximos no verão em julho e agosto (>27°C) em alguns locais das províncias de Cáceres, Badajoz, Toledo, Sevilha, Córdoba e Jaén e valores mínimos no inverno de dezembro a fevereiro(<0°C) nas áreas de maior altitude (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, n.d.).

5.1. Recurso Solar

A primeira análise a realizar aquando da avaliação do potencial de utilização de sistemas de concentração solar térmica numa determinada zona geográfica consiste em avaliar as condições meteorológicas desse local, nomeadamente a irradiância solar direta no plano normal. Idealmente esta informação deveria ser determinada a partir de séries plurianuais de dados horários (ou de menor intervalo de tempo) medidos por uma estação meteorológica local. No entanto, na esmagadora maioria dos casos essa informação é inexistente, sendo necessário recorrer a informação obtida através de satélites meteorológicos e/ou a dados sintetizados a partir da interpolação de informação obtida em estações meteorológicas vizinhas (que poderão distar dezenas ou até centenas de quilómetros do local em análise).

Para Portugal não existem séries longas de medições de irradiância direta no plano normal, estando as primeiras campanhas de caracterização deste recurso no Sul do país (Alentejo) a ser realizadas pelo Instituto Português de Energia Solar. Desta forma, para o Alentejo e o Algarve, o presente documento considera estimativas mensais para o valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal para as localizações das principais estações de tratamento mecânico e biológico e de tratamento de

águas residuais para cada localidade de interesse. Estas estimativas foram obtidas a partir de um ano meteorológico de referência desenvolvido no âmbito do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (Decreto Lei nº 79/2006) com a metodologia descrita em (Aguiar, 2004), baseada num gerador de séries meteorológicas sintéticas, cujos fundamentos podem ser encontrados em (Aguiar, 1998, 1996).

Para a Andaluzia, foram tidos em consideração valores baseados em dados de satélite apresentados pela Agência Estatal de Meteorologia no *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*. Para o valor do DNI foram considerados os dados disponibilizados pela Agência de Energia Andaluza, informação disponível no site: <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>.

A análise do valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal ou horizontal permite inferir a variabilidade da capacidade do sistema solar em alimentar o processo de secagem ao longo do ano.

A média anual da DNI obtida a partir da informação descrita no parágrafo anterior foi comparada com valores provenientes de outras fontes, nomeadamente o *Global Solar Atlas* (GSA) providenciado pela Solargis As diferenças encontradas são compatíveis com os intervalos de incerteza e variabilidade típica observada neste tipo de informação (~10%). Face a esta variabilidade optou-se por apresentar as estimativas para o valor médio anual sob a forma de intervalo por forma a abranger os diferentes valores obtidos a partir várias fontes de dados consideradas.

5.1.1. Algarve

A empresa Algar, gestora do sistema de tratamento de RSU no Algarve, tem a sua estação de tratamento mecânico e biológico bem como o seu aterro sanitário em Porto de Lagos, Portimão. Estimativas para o valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nesse local são apresentadas na figura seguinte.

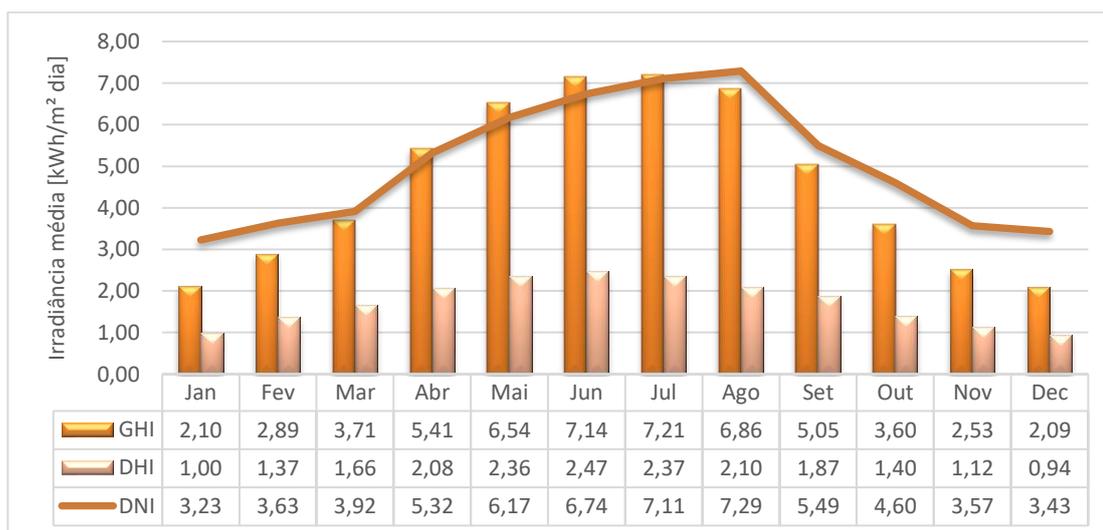


Figura 44 – Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Porto de Lagos.

As figuras 45 a 54 apresentam estimativas para o valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal para as localizações das principais estações de tratamento de águas residuais da empresa Águas do Algarve.

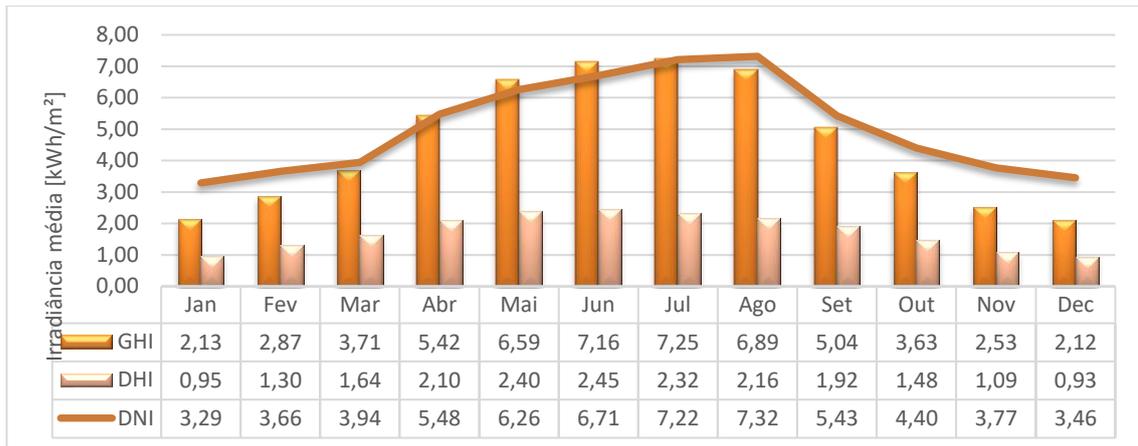


Figura 45 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Boa Vista.

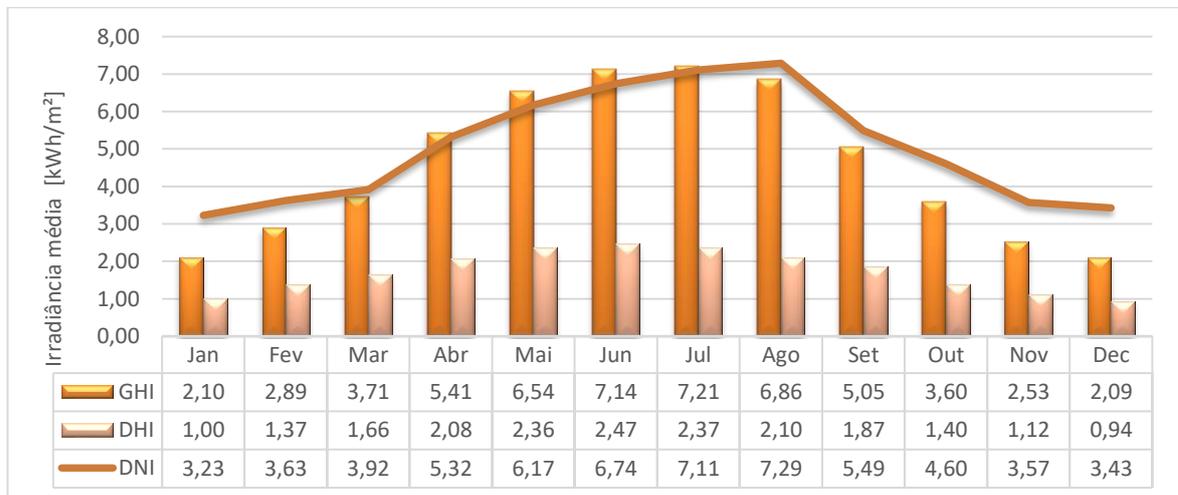


Figura 46 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Companheira.

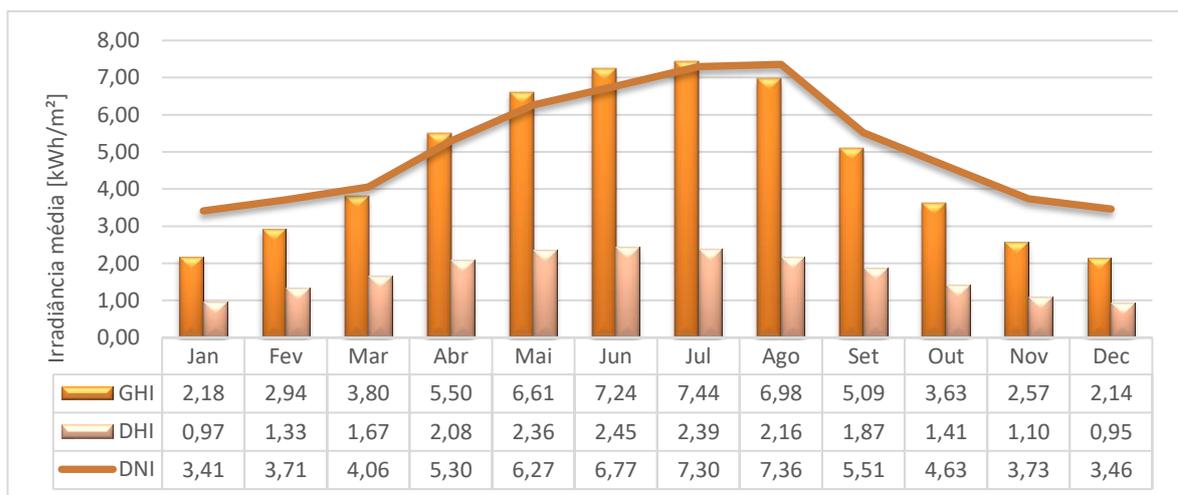


Figura 47 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Albufeira.

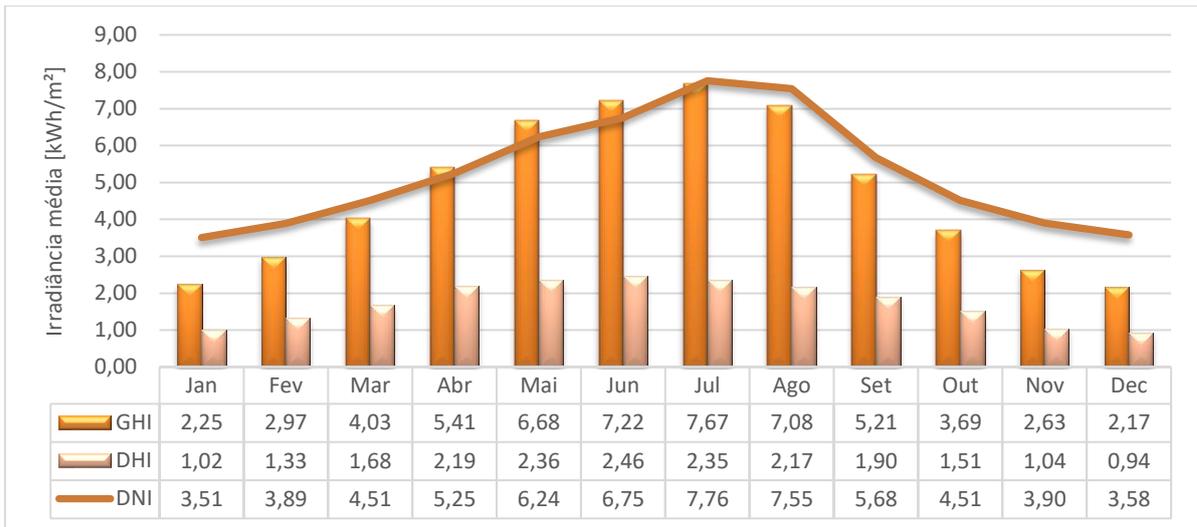


Figura 48 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Almargem.

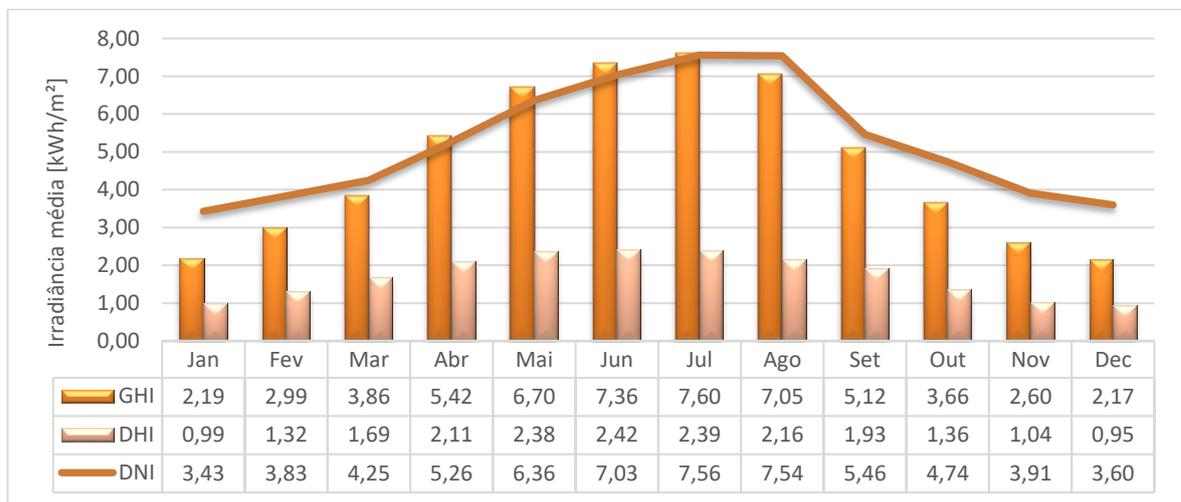


Figura 49 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Faro Noroeste.

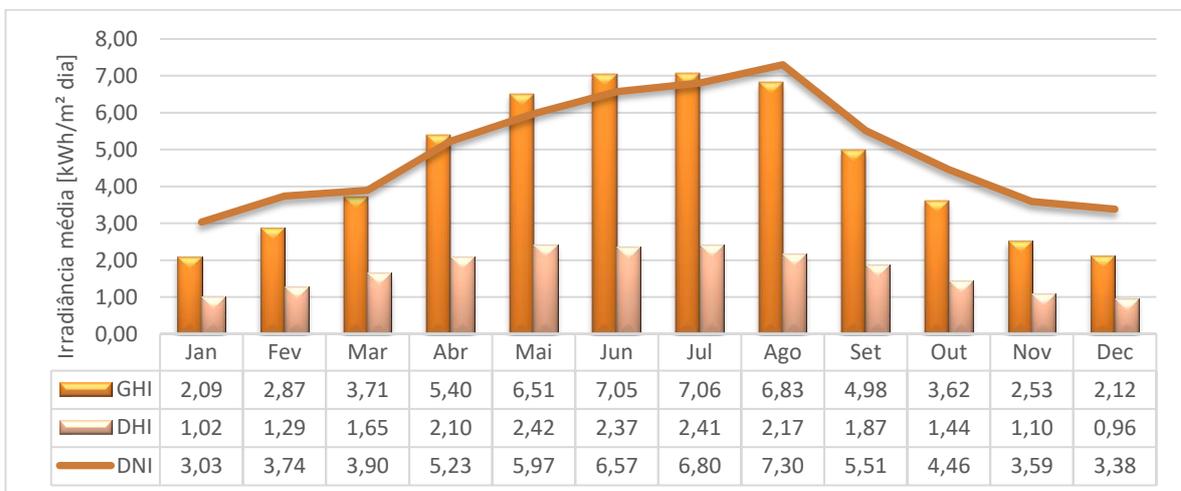


Figura 50 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Lagos.

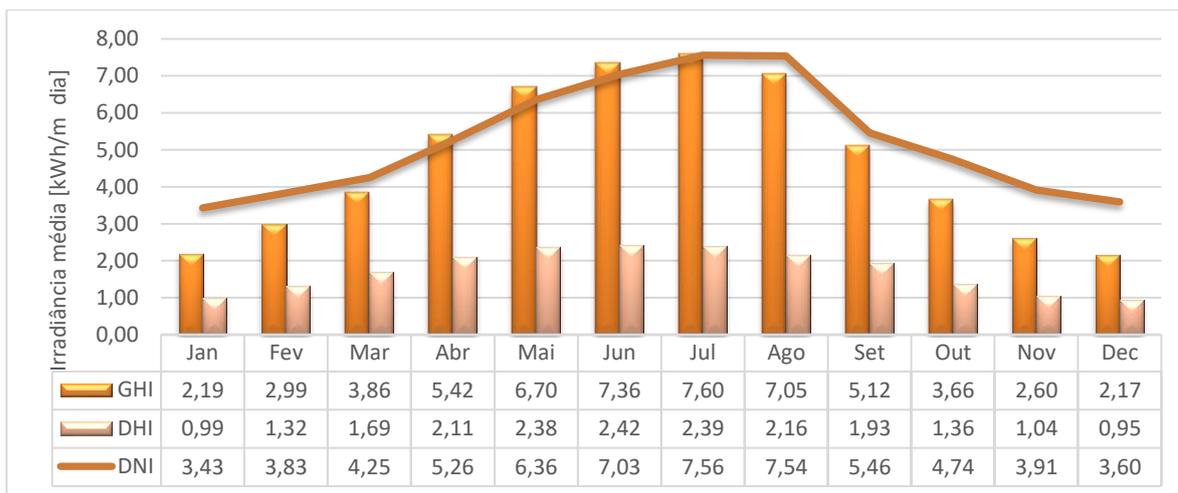


Figura 51 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vale do Faro.

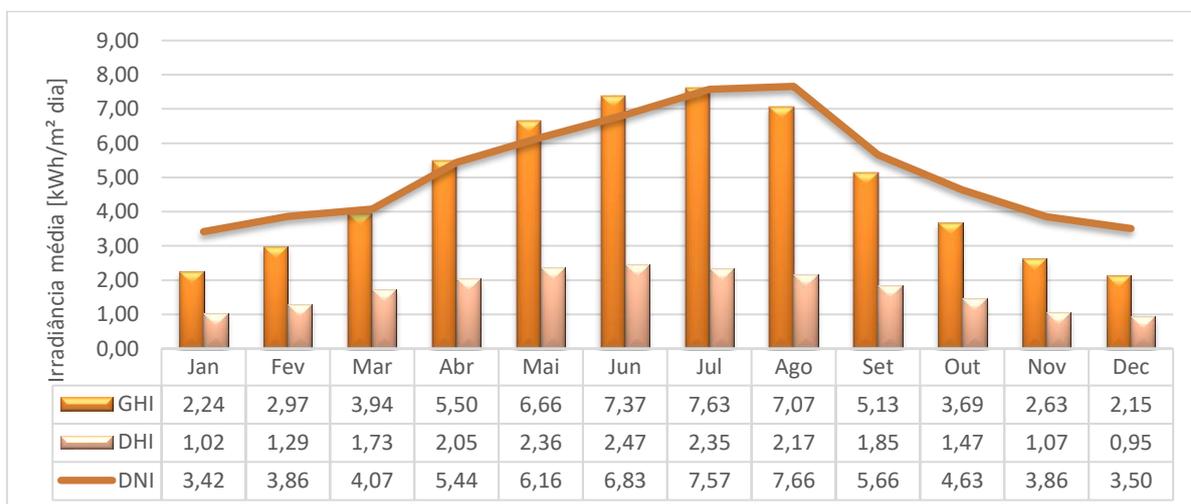


Figura 52 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Olhão Nascente.



Figura 53 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vila Real do Santo Antonio.

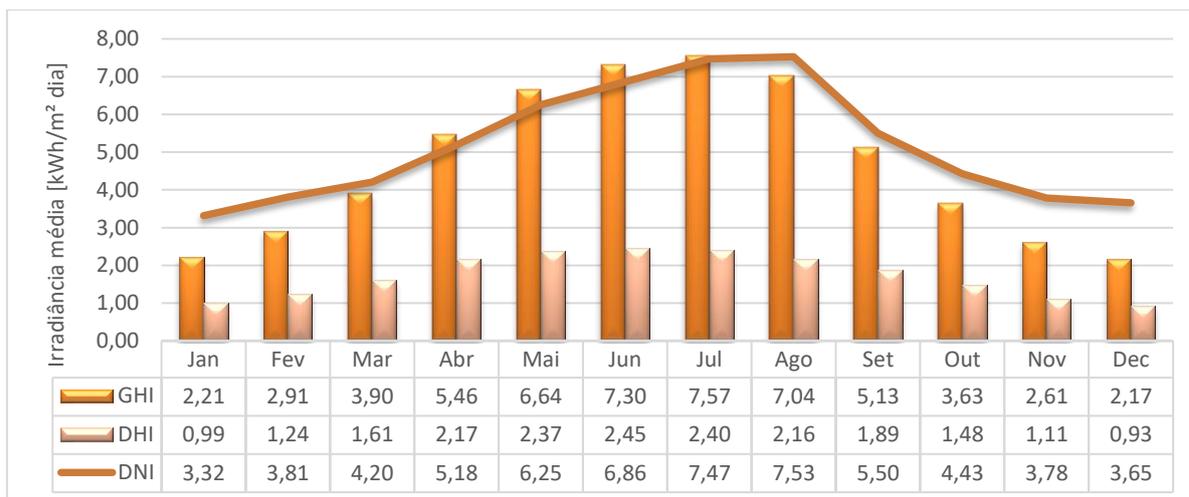


Figura 54 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vilamoura.

As figuras anteriores permitem observar a variação mensal da irradiância diária média disponível nos locais de interesse. Como esperado existe uma maior disponibilidade do recurso solar durante os meses de Verão, com um pico em Julho, sendo também relevante nos meses de Primavera. Nota-se que globalmente a irradiância disponível no pico do Inverno é ligeiramente inferior a metade da irradiância disponível nos meses de Verão. Tal indica que será possível operar o sistema de secagem durante o Inverno, embora com menor capacidade de processamento de matéria a secar - sensivelmente metade da capacidade existente no Verão. A Tabela 16 apresenta a estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nos locais de interesse identificados na região do Algarve.

Tabela 16 – Intervalos de estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nas principais instalações de tratamento de RSU e águas residuais do Algarve.

	GHI	DNI
	kWh/(m ² ano)	
RSU		
ALGAR	1 680 - 1 843	1 843 - 2 067
ETAR		
Boa Vista	1 686 - 1 722	1 856 - 2 151
Companheira	1 680 - 1 843	1 843 - 2 067
Albufeira	1 699 - 1 710	1 874 - 2 116
Almargem	1 741 - 1 850	1 925 - 2 099
Faro Noroeste	1 722 - 1 728	1 918 - 2 116
Lagos	1 669 - 1 836	1 812 - 2 045
Faro	1 699 - 1 710	1 874 - 2 116
Olhão Nascente	1 737 - 1 861	1 909 - 2 102
Vilamoura	1 724 - 1 840	1 888 - 2 100
Vila Real de Santo Antonio	1 741 - 1 850	1 925 - 2 099

Tanto os valores anuais estimados para o GHI como para o DNI na região do Algarve indicam que existe uma significativa quantidade de recurso solar disponível para a utilização de sistemas solares térmicos com recurso tanto a tecnologias não concentradoras como a tecnologias concentradoras. Desta forma existe um potencial técnico significativo para o aproveitamento térmico da energia solar na região do Algarve.

5.1.2. Alentejo

As figuras 55, 56 e 57 referem-se à estimativa da variação mensal da irradiância diária média disponível nos aterros sanitários localizados do Alentejo. A estimativa do valor diário médio da irradiância global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nos locais das estações de tratamento de águas residuais são apresentadas nas figuras 58 a 76.

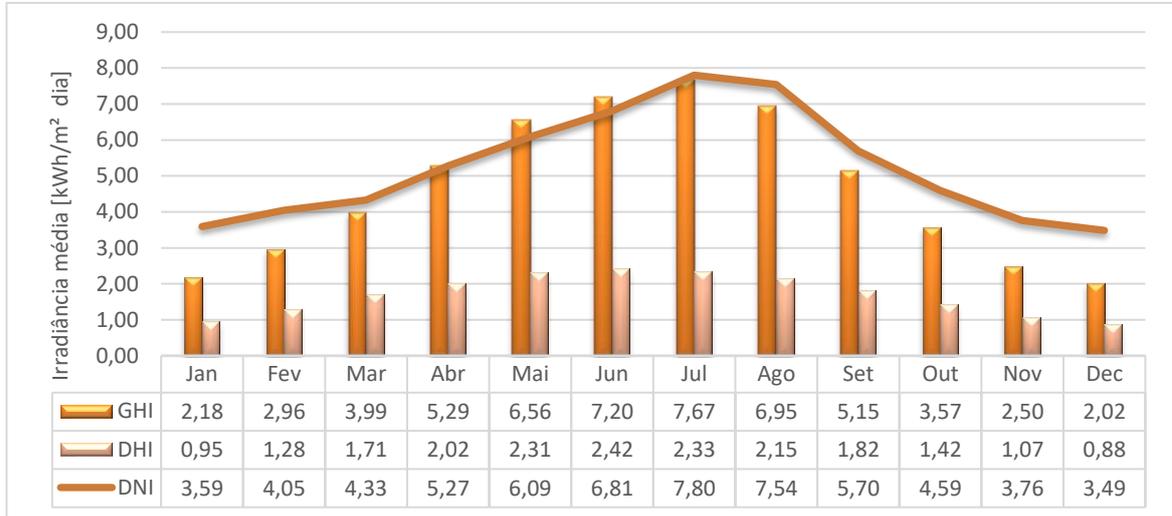


Figura 55 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Évora.

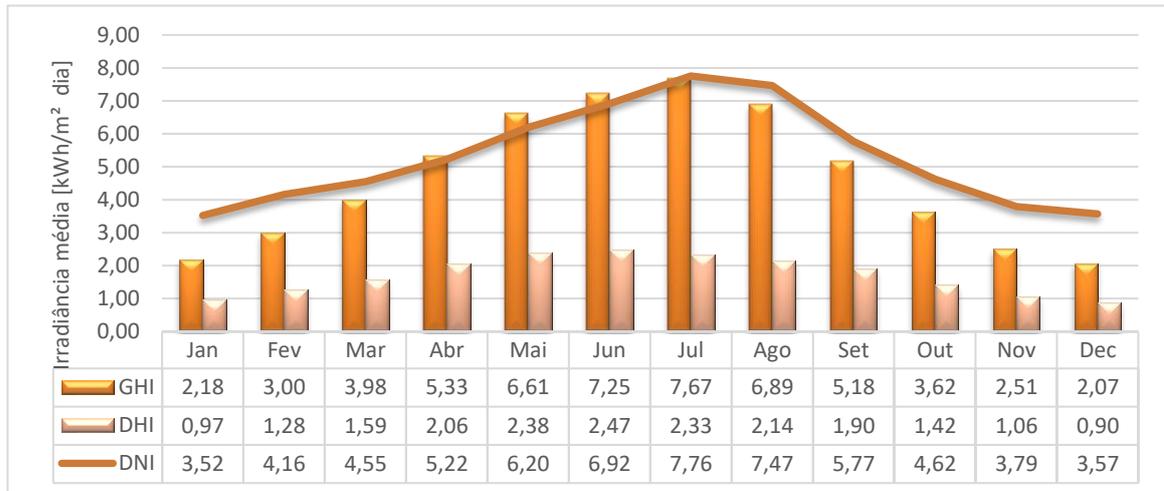


Figura 56 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vila Ruiva.

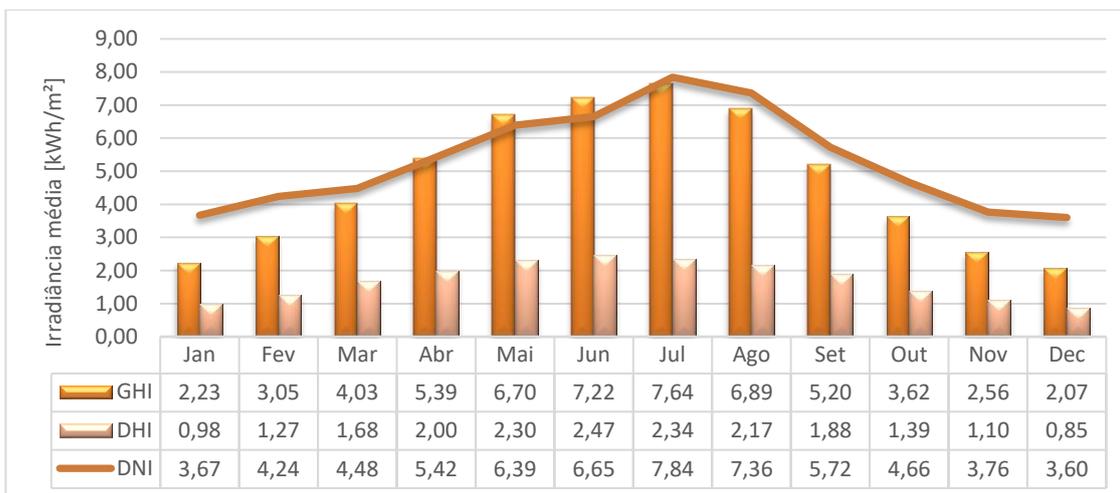


Figura 57 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal do Aterro Sanitário da Resialentejo.

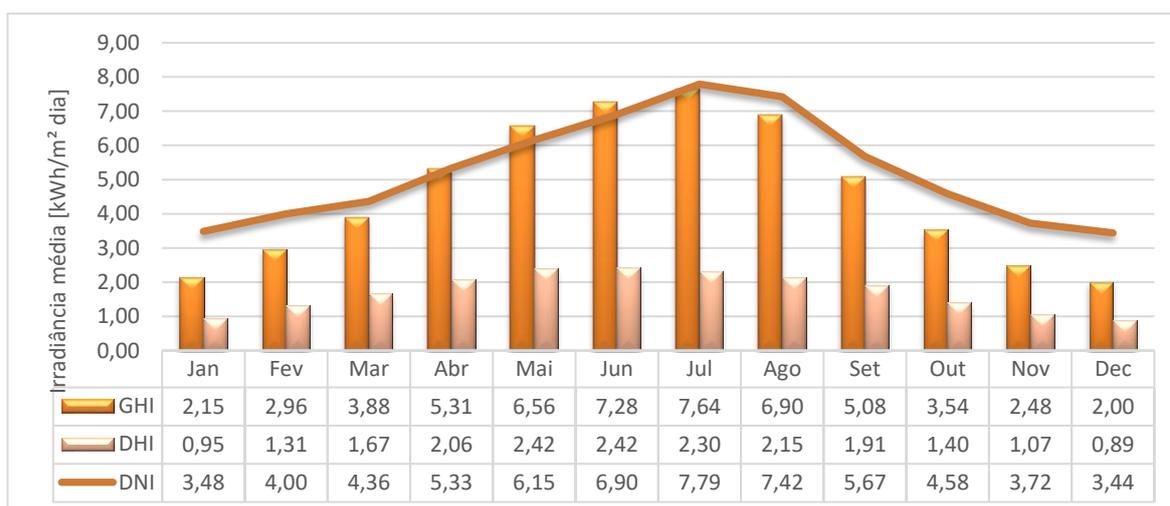


Figura 58 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Alcacer do Sal.

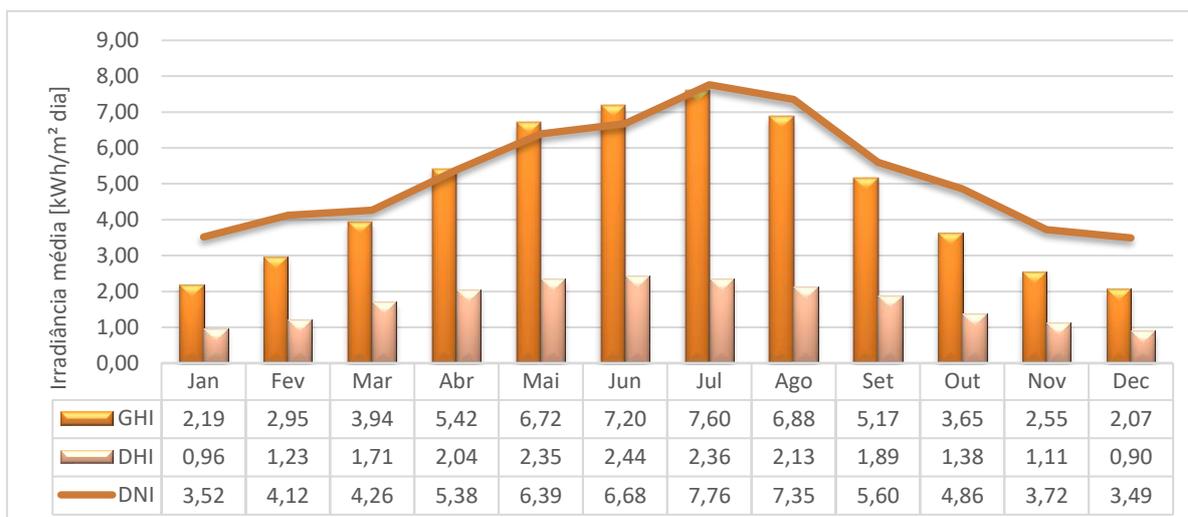


Figura 59 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Aljustrel.

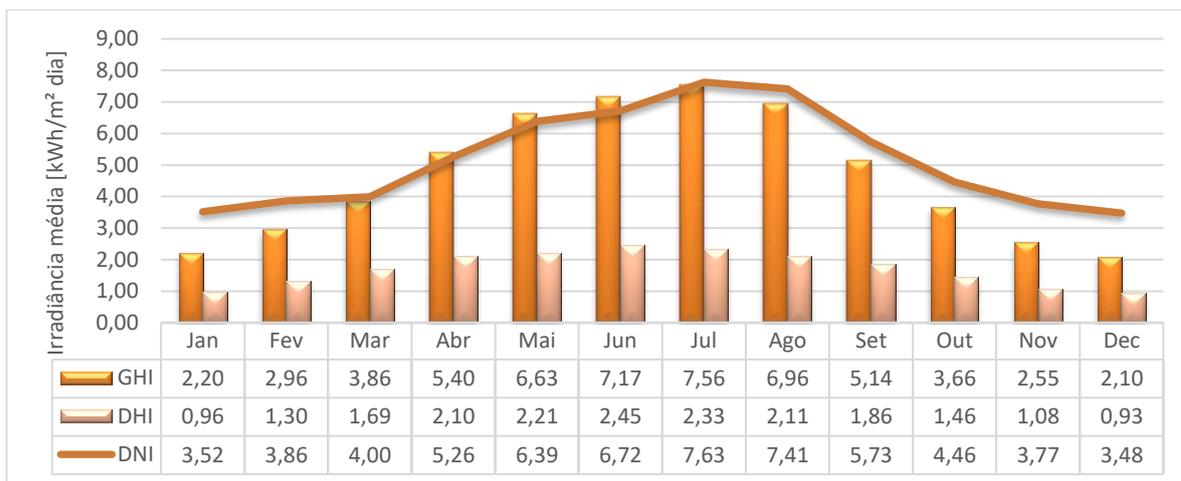


Figura 60 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Almodovar.

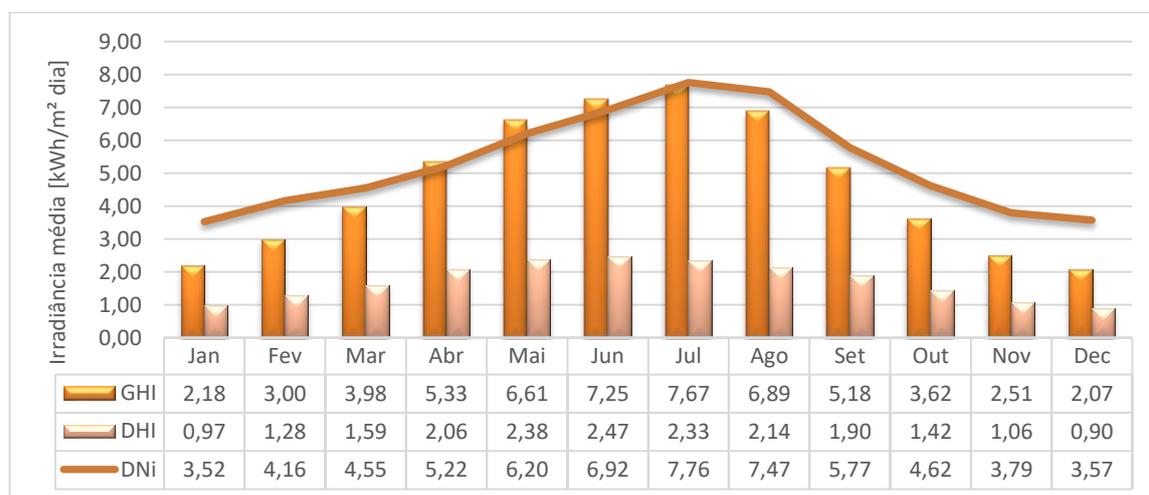


Figura 61 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Alvitto.

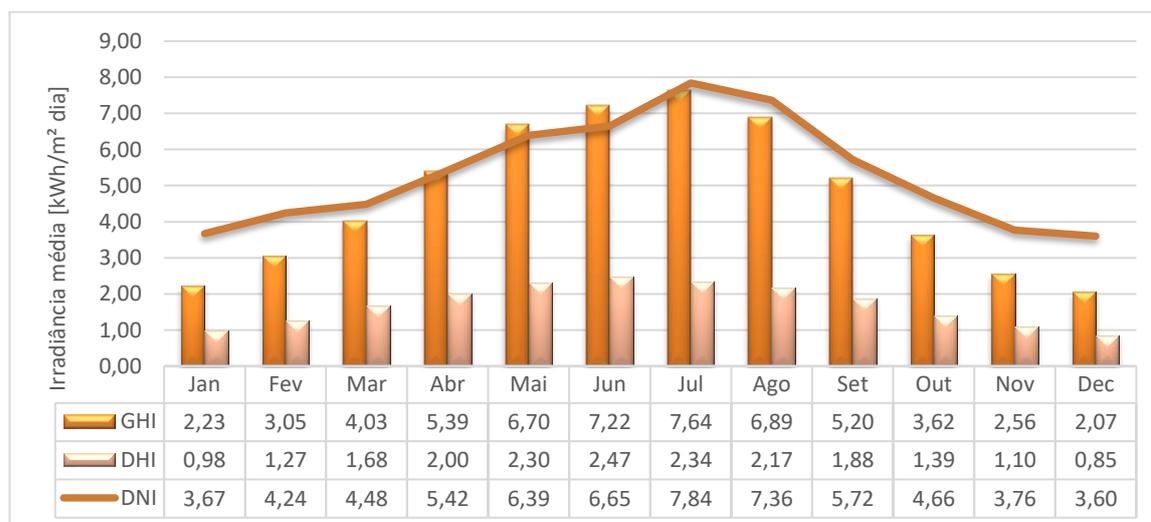


Figura 62 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Beja.

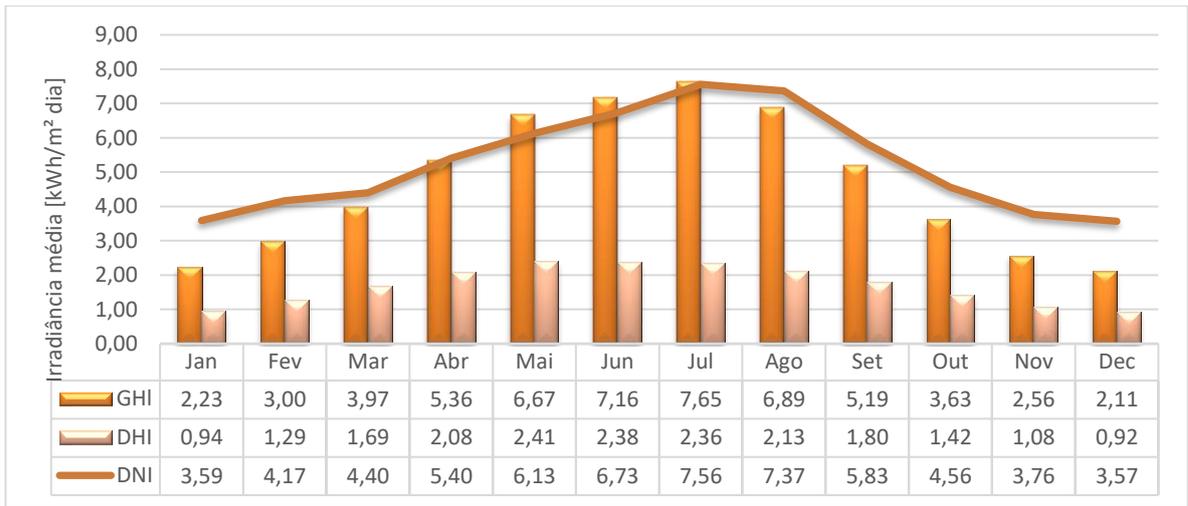


Figura 63 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Castro Verde.

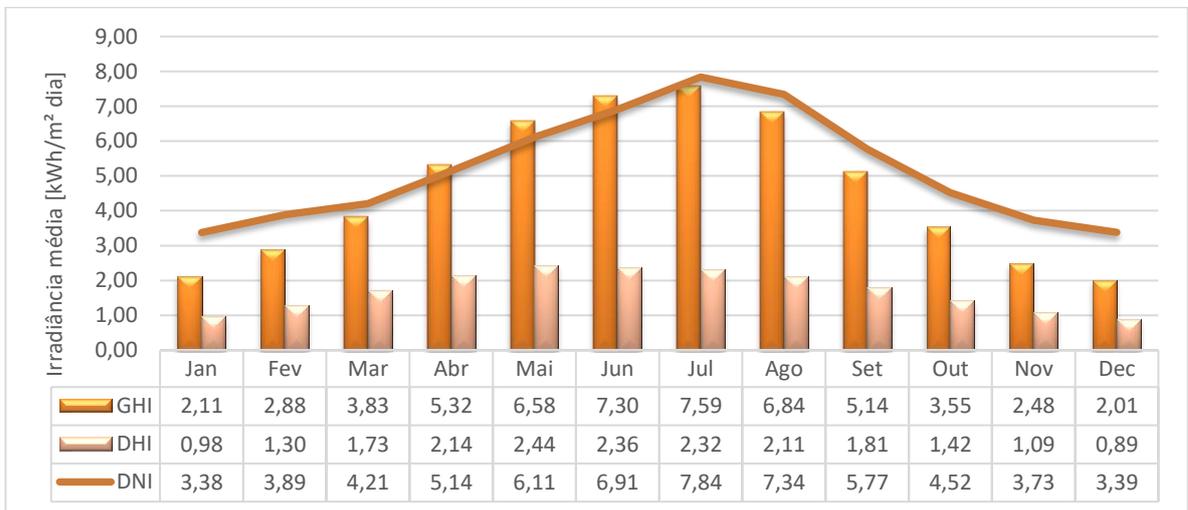


Figura 64 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Grândola.

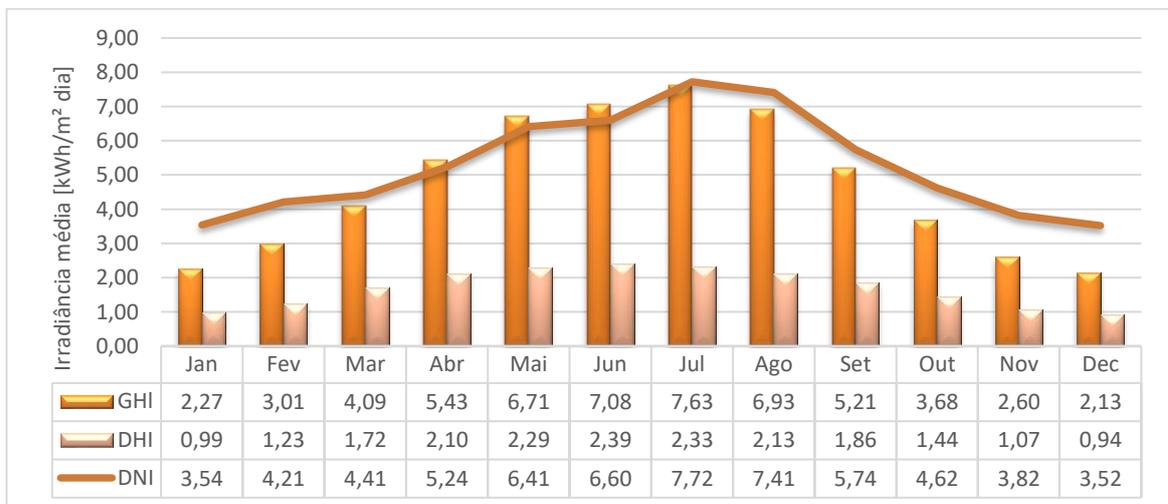


Figura 65 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Mértola.

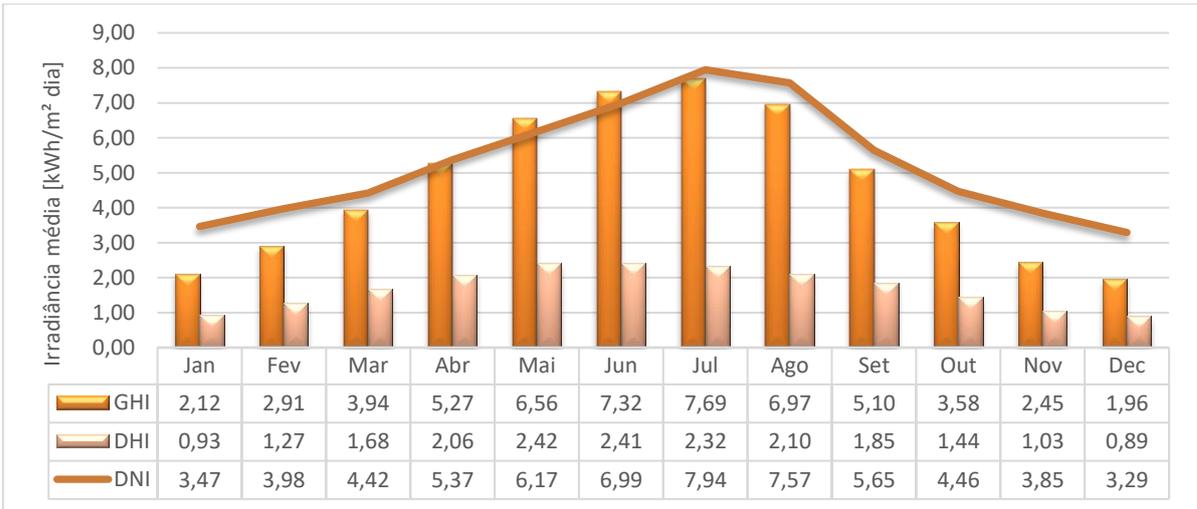


Figura 66 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Montemor-o-Novo.

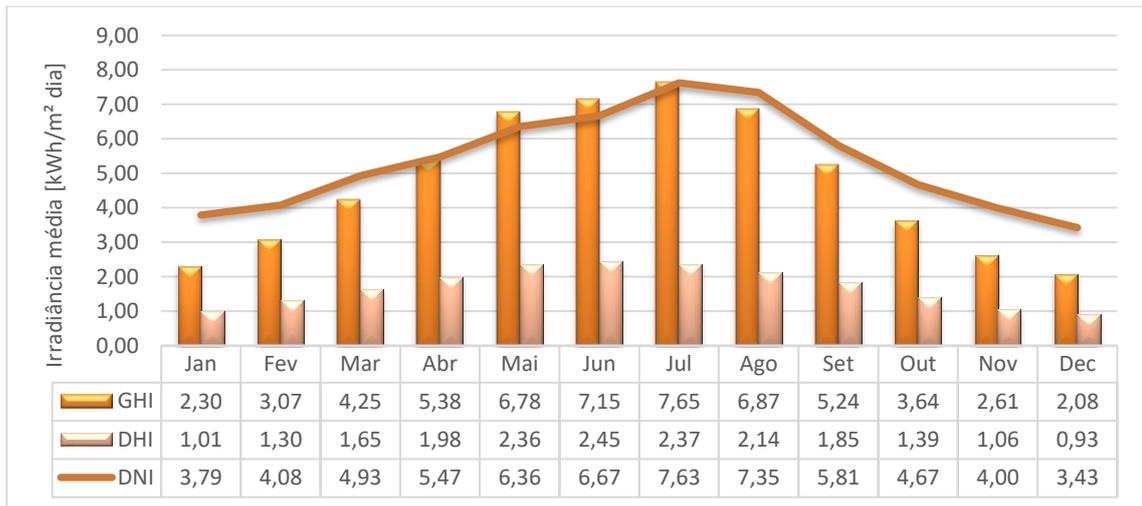


Figura 67 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Moura.

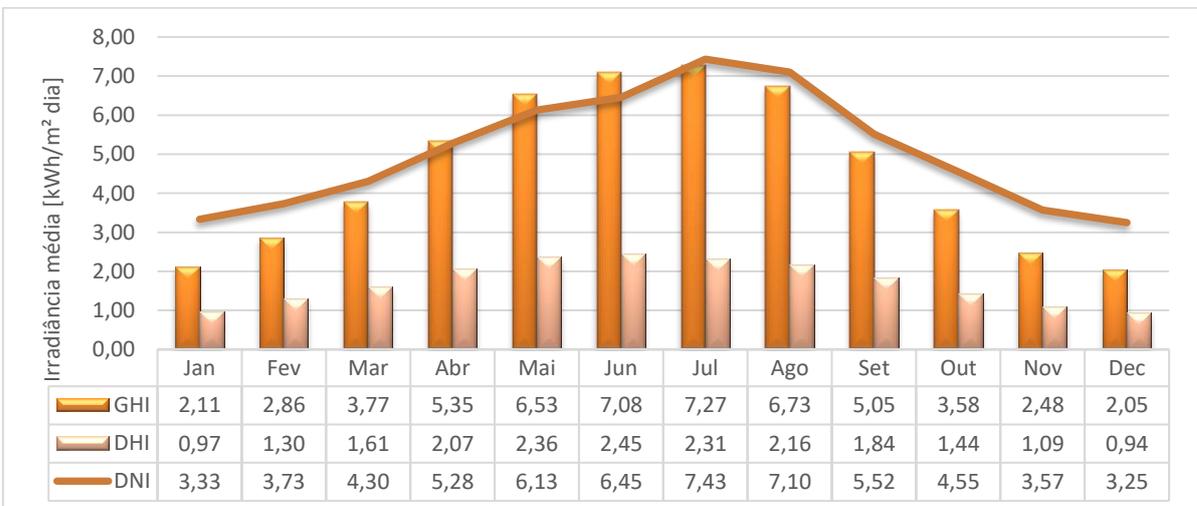


Figura 68 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Odemira.

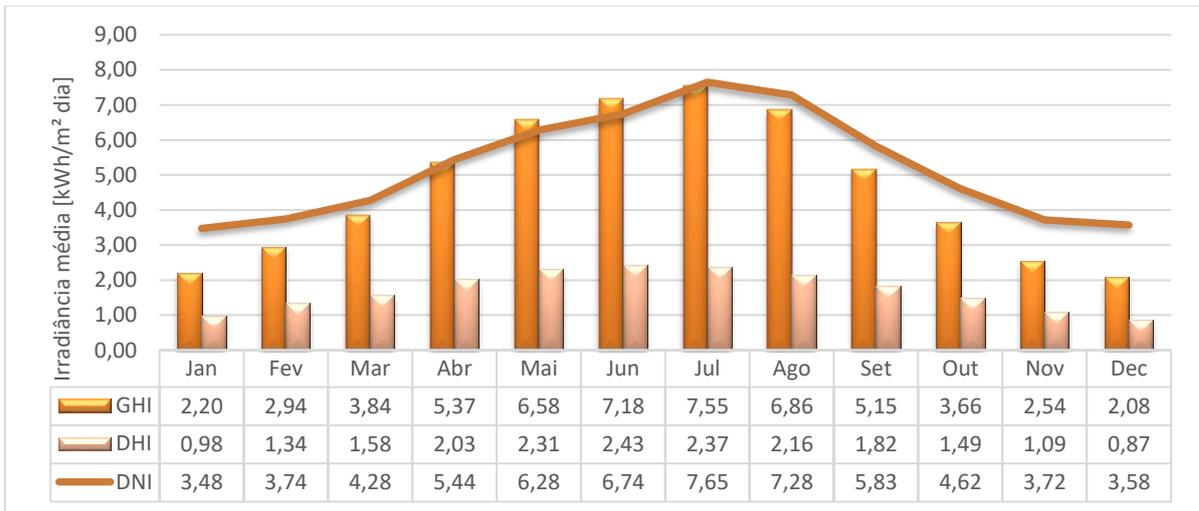


Figura 69 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Ourique.

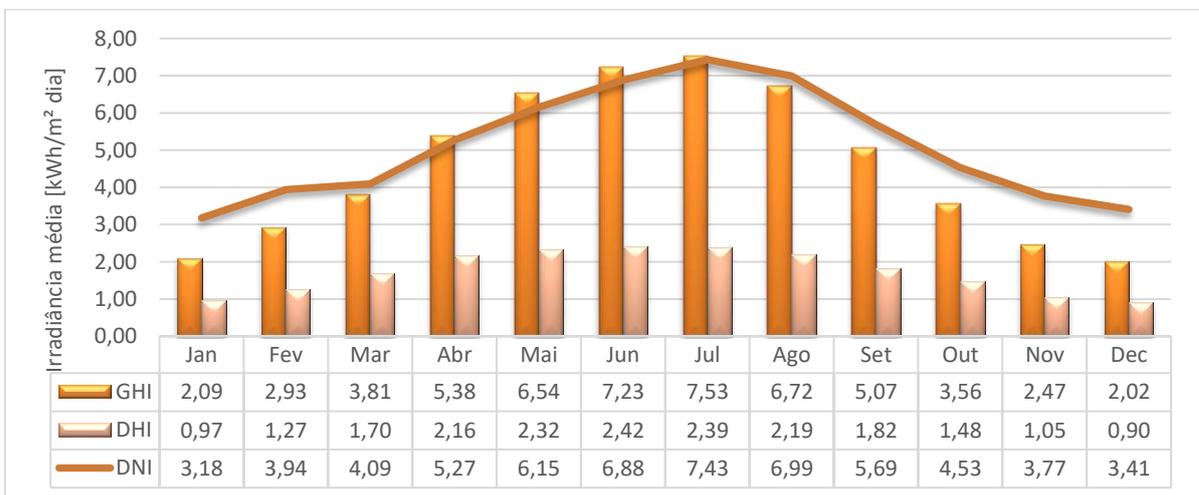


Figura 70 Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Santiago do Cacém.

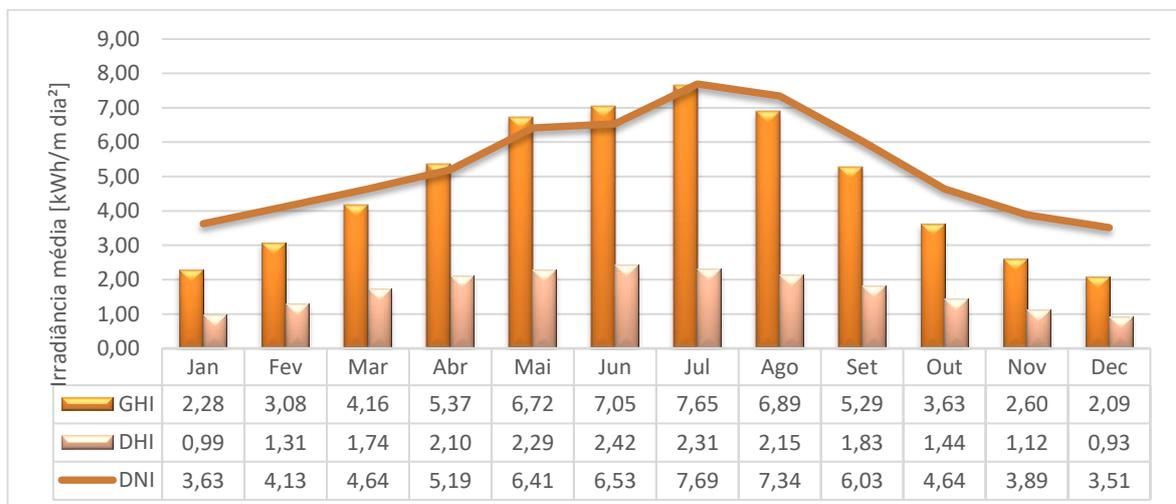


Figura 71 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Serpa.

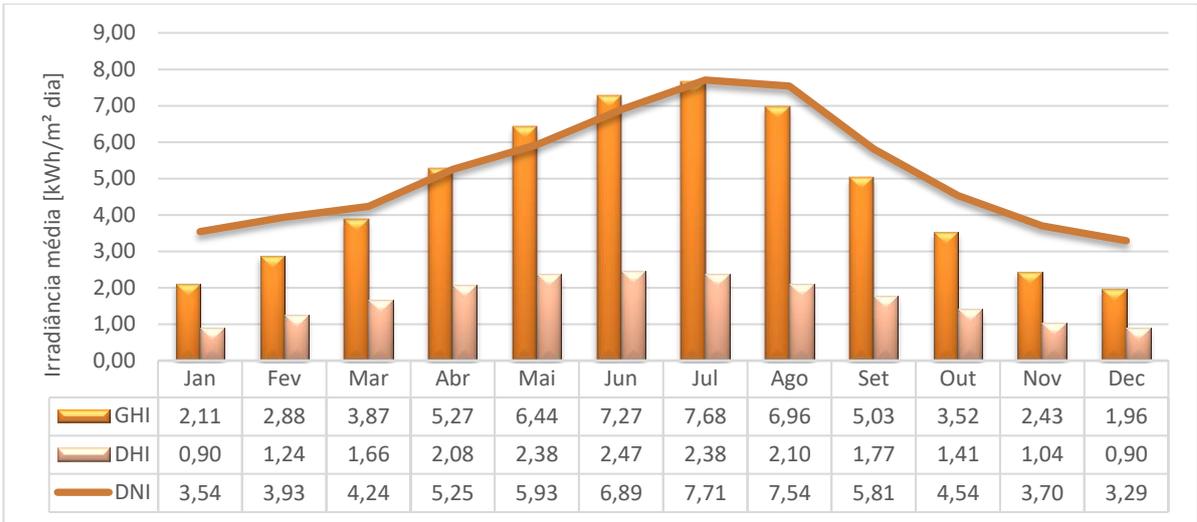


Figura 72 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vendas novas.

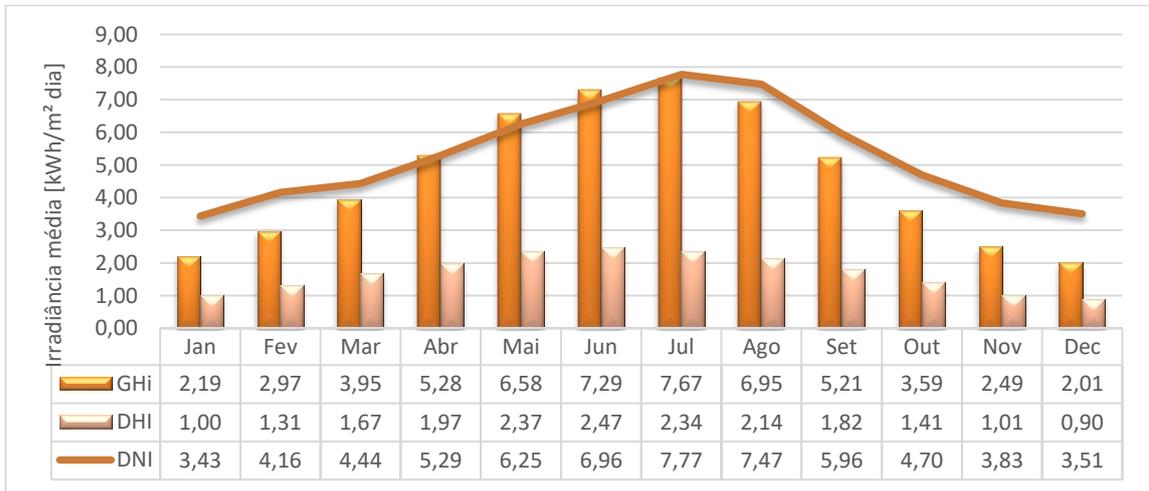


Figura 73 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Viana do Alentejo.

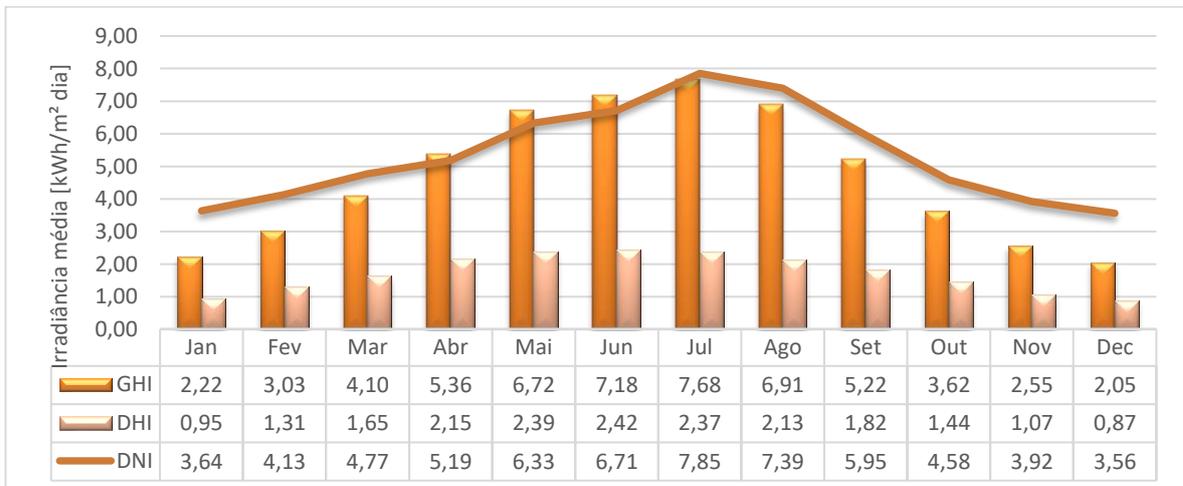


Figura 74 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Vidigueira.



Figura 75 Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal na Ribeira de Moinhos da empresa AdSA.



Figura 76 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal em Évora da empresa Aca.

Nas figuras anteriores pode-se observar a variação mensal da irradiância diária média disponível nos locais de interesse da região do Alentejo. Como esperado existe uma maior disponibilidade do recurso solar durante os meses de Verão, tal como na região do Algarve, com um pico em julho, sendo também relevante nos meses de Primavera. Tal como para a região do Algarve, embora com menor disponibilidade de recurso solar durante os meses de Inverno, deverá ser possível operar o sistema de secagem nos locais acima referidos.

A tabela 17 apresenta a estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nos locais de interesse identificado na região do Algarve.

Tabela 17 - Intervalo de estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nas principais instalações de tratamento de RSU e águas residuais do Alentejo.

	GHI	DNI
	kWh/m ² ano	
RSU		
GESAMB	1 708 - 1 756	1 919 - 2011
AMCAL	1 715 - 1 756	1 936 - 1987
RESIALENTEJO	1 725 - 1 790	1 943 - 2017
ETAR		
Alcácer do Sal	1 700 - 1 737	1 914 - 1 927
Aljustrel	1 717 - 1 778	1 924 - 1 991
Almodôvar	1 712 - 1 803	1 896 - 2 045
Alvito	1 715 - 1 756	1 936 - 1 987
Beja	1 725 - 1 790	1 943 - 2 017
Castro Verde	1 719 - 1 785	1 921 - 2 033
Grândola	1 695 - 1758	1 895 - 1 965
Mértola	1 730 - 1 793	1 926 - 2 008
Montemor-o-Novo	1 702 - 1 723	1 924 - 1 932
Moura	1 738 - 1 780	1 955 - 2 022
Odemira	1 672 - 1 776	1 848 - 1 938
Ourique	1 705 - 1 782	1 908 - 1 993
Santiago do Cacém	1 686 - 1 759	1 867 - 1 951
Serpa	1 731 - 1 783	1 938 - 2 017
Vendas novas	1 689 - 1 716	1 900 - 1 914
Viana do Alentejo	1 712 - 1 756	1 943 - 1 996
Vidigueira	1 726 - 1 773	1 951 - 2 020
Ribeira de Moinhos	1 676 - 1 788	1 862 - 1 972
Évora	1 708 - 1 756	1 919 - 2 011

Os valores anuais estimados para a GHI como para a DNI na região do Alentejo indicam que existe uma significativa quantidade de recurso solar disponível para a utilização de sistemas solares térmicos. Desta forma existe um potencial técnico significativo para o aproveitamento térmico da energia solar na região. No caso da região do Alentejo a disponibilidade estimada de radiação solar é ligeiramente inferior ao da região do Algarve, mas ainda assim bastante apreciável

5.1.3. Andaluzia

Como não se possuem informações detalhadas para todos os locais onde se encontram a totalidade das instalações das centrais de tratamento de RSU e as instalações de tratamento de águas residuais andaluzas, a informação é disponibilizada em termos de irradiância solar global e direta no plano normal para todas as capitais das províncias da Andaluzia.

Nos gráficos seguintes a média diária da irradiância direta, difusa e global são representadas para as oito capitais das províncias de Andaluzia (Sancho Ávila et al., 2012).

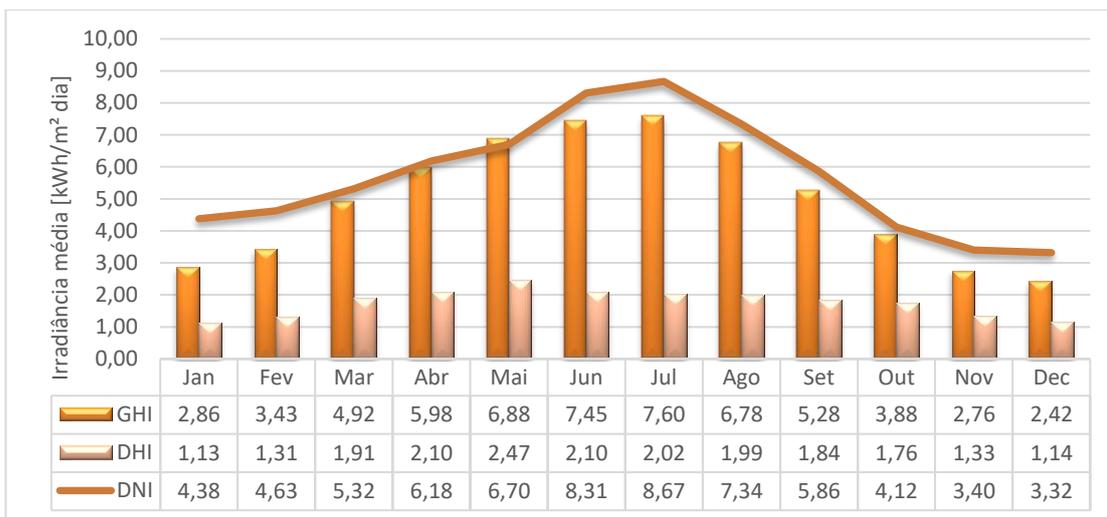


Figura 77 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Almeria.

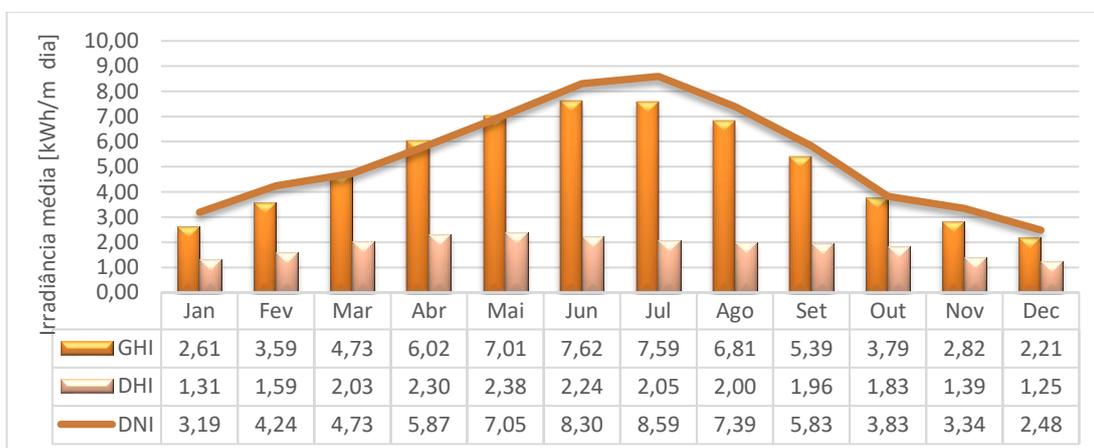


Figura 78 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Cádiz.

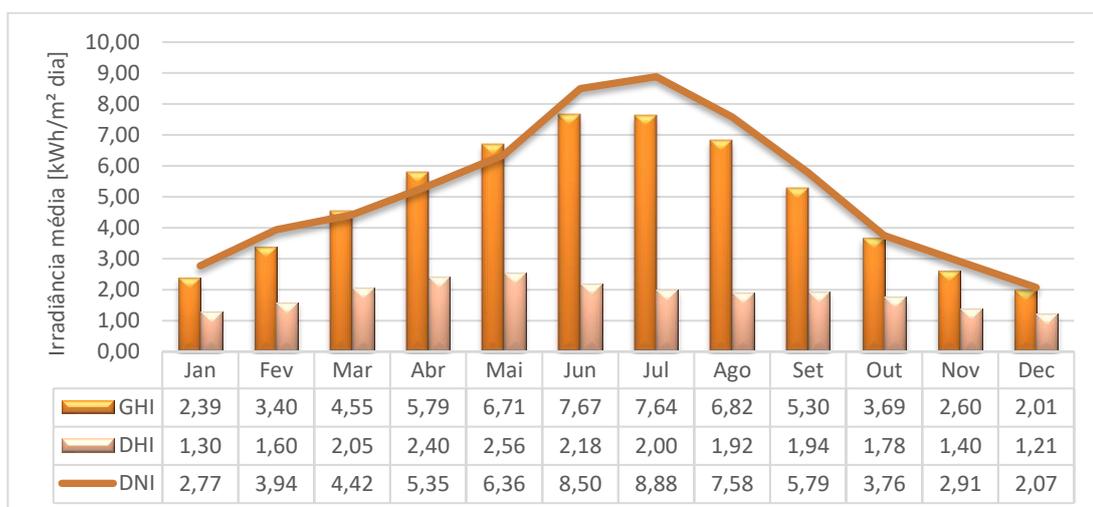


Figura 79 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Córdoba.

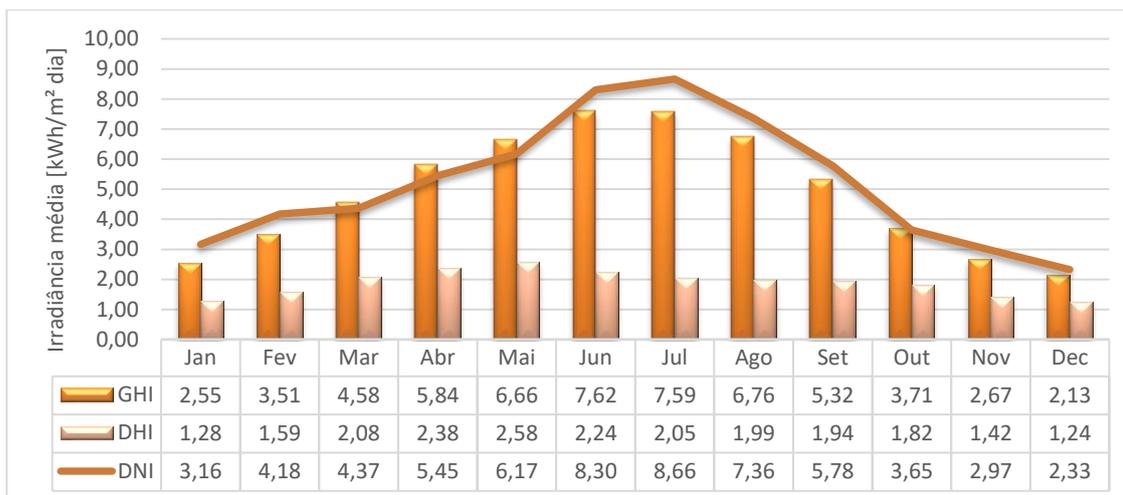


Figura 80 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Granada.



Figura 81 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Huelva.

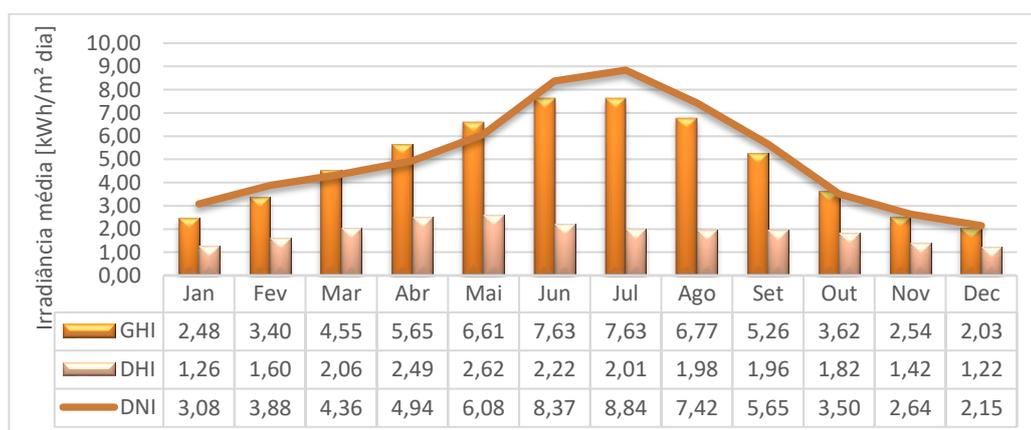


Figura 82 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Jaén.

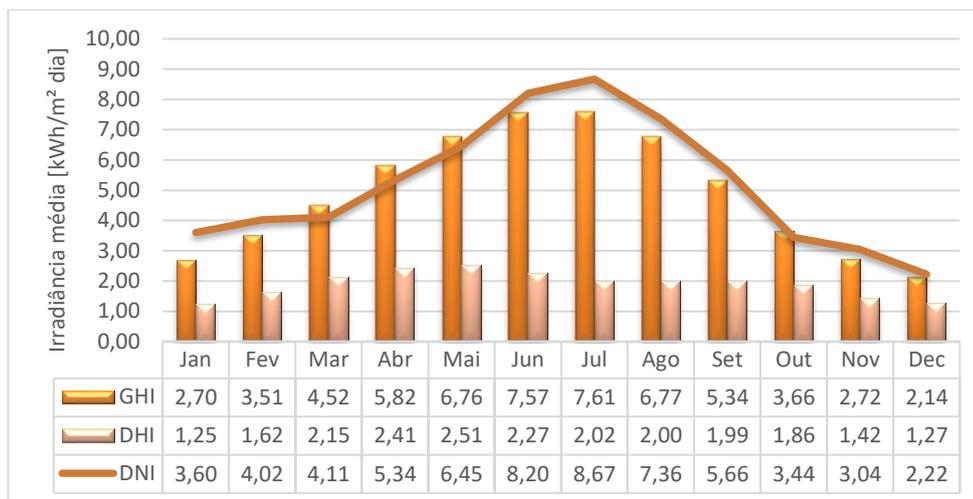


Figura 83 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Malaga.

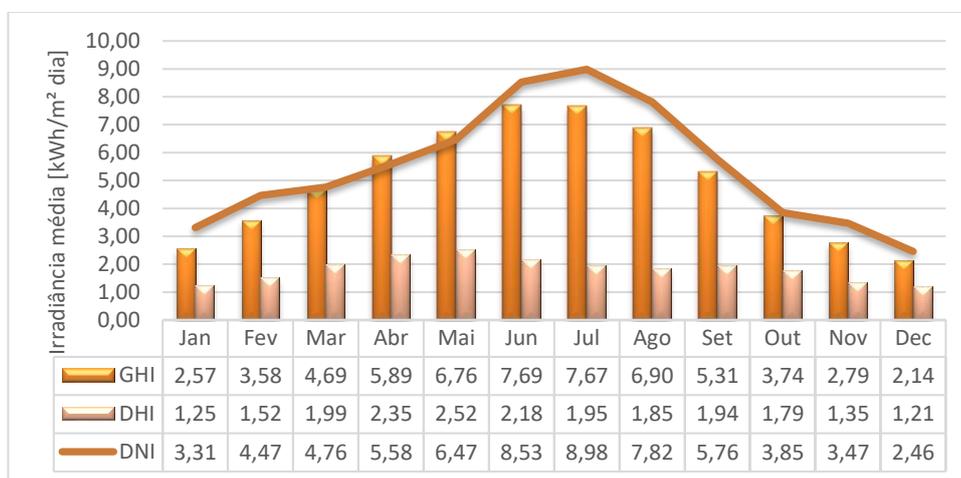


Figura 84 - Estimativa para o valor diário médio da irradiância média global e difusa no plano horizontal e a irradiância direta no plano horizontal em Sevilla.

As figuras anteriores permitem observar a variação mensal da irradiância diária média disponível nos locais de interesse na região de Andaluzia na Espanha, que apresentam de forma global perfis não muito distintos dos existentes para as duas regiões portuguesas, apresentando, no entanto, valores tendencialmente mais elevados que os portugueses. A tabela 18 apresenta a estimativa dos valores anuais para a irradiância global no plano horizontal e a irradiância direta no plano normal nos locais de interesse identificado nesta região.

Tabela 18 - Resumo do potencial da radiação nos locais da região de Andaluzia

	GHI	DNI
	kWh/m² ano	
Almeria	1832	2 077
Cádiz	1 832	1 971
Córdoba	1 781	1 894
Granada	1 792	1 898
Huelva	1 850	2 080
Jaén	1 770	1 854
Málaga	1 799	1 891
Sevilla	1 817	1 989

A partir dos valores anuais estimados para o GHI como para o DNI na região da Andaluzia, pode-se concluir pela existência de uma significativa quantidade de energia solar disponível para ser aproveitada por sistemas solares térmicos. Desta forma há um potencial técnico significativo para o aproveitamento térmico da energia solar na região.

5.2. Potencial técnico de secagem com energia solar térmica

As secções anteriores apresentam uma estimativa da quantidade de energia solar disponível para alimentar os sistemas de secagem solar, permitindo estimar o potencial em termos da disponibilidade da fonte de energia. Esta secção apresenta uma estimativa para o potencial de utilização da energia solar nos dois processos de secagem de interesse (CDR e lamas de ETAR), em termos de quantidade de matéria processada por unidade de área de captação de energia solar.

Para estimar o potencial técnico de secagem com recurso solar, em processos de secagem de lamas provenientes do sistema de tratamento de águas residuais e de secagem de CDR provenientes do sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos, será considerada uma avaliação simplificada das necessidades de energia do processo de secagem. Assim, definiu-se o potencial de secagem com recurso da energia solar térmica como

$$m_{pot}^{sol} = \frac{q_{sol}}{q_{sec}} \quad (1)$$

onde q_{sol} representa a energia solar disponível para o processo de secagem por unidade de área de captação e q_{sec} a energia específica necessária para secar um quilograma de matéria. A energia solar disponível para o processo de secagem corresponde à energia captada pelo coletor e transferida para o fluido de trabalho. Para a presente estimativa considera-se que esta depende do DNI e do rendimento do coletor de acordo com

$$q_{sol} = \eta DNI \quad (2)$$

Para determinar o valor de q_{sec} considerou-se um processo de secagem simplificado, onde o líquido é removido do sólido especificamente por evaporação, sem ter em conta processos mecânicos de desidratação, filtração e centrifugação. A quantidade mínima de calor requerida pelo processo de secagem corresponde ao calor latente de evaporação da fração líquida e ao calor sensível utilizado para subir a temperatura do material (fração líquida e fração sólida) desde a temperatura de entrada até à temperatura de evaporação. Desta forma,

$$Q_{sec} = m_{H_2O}^{ev} \lambda_{H_2O} + [m_{H_2O} c_p^{H_2O} + (m_{in} - m_{H_2O})c_p](T_{op} - T_e) \quad (3)$$

onde $m_{H_2O}^{ev}$ representa a massa de água evaporada, λ_{H_2O} o calor latente de evaporação da água, m_{H_2O} a massa de água presente no material a secar, $c_p^{H_2O}$ o calor específico da água, m_{in} a massa de material a secar, c_p o calor específico do material (lama ou CDR) totalmente seco, T_{op} a temperatura de operação do interior do secador – utilizada como estimativa da temperatura atingida pelo material a secar – e T_e a temperatura de entrada do material a secar. A equação anterior pode ser reescrita em termos do teor de humidade em base húmida, x . Caso se conheça o calor específico da lama ou CDR seco pode-se escrever:

$$Q_{sec} = m_{in} q_{sec} = m_{in} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + (x_h c_p^{H_2O} + (1 - x_h)c_p)(T_{op} - T_e)] \quad (4)$$

onde x_h e x_s representam a fração de humidade em base húmida do material por secar e do material após a secagem respetivamente. Caso se conheça o calor específico do material por secar e não do material totalmente seco então é preferível utilizar outra forma desta equação:

$$Q_{sec} = m_{in} q_{sec} = m_{in} [(x_h - x_s) \lambda_{H_2O} + c_p^h (T_{op} - T_e)] \quad (5)$$

onde c_p^h representa o calor específico do material por secar.

Para estimar o potencial de secagem nas regiões do Algarve, Alentejo e Andaluzia, foram usadas as equações 2 e 4. Primeiro foi estimado o valor da energia solar disponível com a equação 2 e depois foi usada a equação 4 para estimar a quantidade de energia necessária na secagem.

No processo de secagem, quanto maior for a temperatura maior será a transferência de calor e a evaporação, no entanto, existem algumas limitações de ordem técnica relacionadas com o material a secar que limitam na prática a temperatura de operação. No caso da secagem de CDR, a temperatura atingida pelo material não deve superar os 80 °C, pois existem materiais plásticos constituintes do CDR que têm mudança de fase a 90 °C (Energy Waste, 2012). Assim, o valor da temperatura da secagem de CDR foi adotado como 80 °C, utilizando-se um valor para o calor latente de evaporação da água a 80 °C de 2 305,01 kJ kg⁻¹. A fração de humidade em base húmida do CDR por secar foi adotada em 50 % e para o CDR após a secagem foi adotado o valor de 10 %.

No processo de secagem das lamas as temperaturas podem variar de 150 a 200 °C. Neste caso, para a secagem de lamas foi adotada a temperatura de operação de 200 °C, utilizando-se um valor para o calor latente de evaporação da água a 200 °C de 1950,2 kJ kg⁻¹. A temperatura ambiente nos dois casos foi considerada igual a 25 °C, igual à temperatura de referencia para o material a secar. O calor específico da água $c_p^{H_2O}$ utilizado foi 4,2 kJ/kg °C.

As lamas de ETAR são caracterizadas por um elevado teor de humidade, algumas apresentam teor de humidade superior a 83% (Banegas et al., 2007). A fração de humidade em base húmida das lamas por secar considerada nesta estimativa foi 83 % e após a secagem 5 %. Se o teor de humidade nas lamas for superior a 5-6% não podem ser armazenadas, pois pode originar o crescimento de microrganismos e originar autocombustão do produto.

Considerando estes pressupostos obteve-se um valor de q_{sec} para a secagem de lamas de 0,6226 kWh/kg e para a secagem de CDR de 0,32 kWh/kg.

Para as regiões do Algarve, Alentejo e Andaluzia, foram utilizados, os valores de DNI anual apresentados nas tabelas 16, 17 e 18. O rendimento médio do coletor solar foi estimado em 71% até uma temperatura de operação de 350°C (Kutscher et al., 2010). Essa eficiência foi utilizada para calcular a energia solar fornecida pelo coletor para a secagem em cada um dos locais de interesse das diferentes regiões de Portugal e da Espanha.

Para secar um quilo de lamas é necessário entre 1,5 até 12 MJ/kg de energia, dependendo da percentagem de humidade no produto, a temperatura no processo de secagem e da eficiência no processo (APDA, 2010). No caso da secagem do CDR, a quantidade de energia necessária é menor, isso vai depender também de fatores como a percentagem de humidade, eficiência no processo de secagem, etc.

Note-se que as estimativas que a seguir se apresentam são dotadas de um grau de incerteza associado às premissas adotadas. Por exemplo, a utilização de um secador ideal, a utilização de um valor médio para a eficiência do coletor que na realidade depende do coletor escolhido e do ponto de operação do mesmo ou a ocorrência de diferentes condições meteorológicas que influenciam a eficiência do coletor e o teor de humidade dos materiais a secar. A Tabela 19 apresenta a estimativa da quantidade de lamas e CDR, que se pode secar por unidade de área de captação de energia solar num ano tipo para as localizações de referência da região do Algarve.

Tabela 19 - Resultados da estimativa da capacidade específica de secagem para um ano típico nas instalações da região do Algarve.

	Q_{sec} kg/(m ² ano)
RSU	
Algar	4 090 - 4 566
ETAR	
Boa Vista	2 117 - 2 420
Companheira	2 178 - 2 397
Albufeira	2 137 - 2 413
Almargem	2 194 - 2 357
Faro Noroeste	2 188 - 2 453
Lagos	2 067 - 2 332
Vale do Faro	2 137 - 2 413
Olhão Nascente	2 178 - 2 397
Vilamoura	2 154 - 2 395
V. R. Santo Antonio	2 196 - 2 394

Conforme se verifica na Tabela 20, existe um potencial de secagem solar para a localização da unidade de TMB da empresa ALGAR entre 4 090 $kg/(m^2\text{ano})$ e 4 566 $kg/(m^2\text{ano})$ de CDR. Os resultados sugerem que o local com maior potencial para a secagem de lamas no Algarve corresponde à ETAR de Faro Noroeste, cujos valores variam entre 2 188 $kg/(m^2\text{ano})$ e 2 453 $kg/(m^2\text{ano})$.

A Tabela 20 apresenta os resultados referentes à estimativa da secagem de lamas nas estações de tratamento de águas residuais e CDR para a região do Alentejo.

Tabela 20 - Resultados da estimativa da capacidade específica de secagem para um ano típico nas instalações da região do Alentejo.

	Q_{sec} kg/(m ² ano)
RSU	
GESAMB	4 260 - 4 462
AMCAL	4 296 - 4 409
RESIALENTEJO	4 313 - 4 475
ETAR	
Alcácer do Sal	2 184 - 2 198
Aljustrel	2 194 - 2 271
Almodôvar	2 162 - 2 332
Alvito	2 208 - 2 266
Beja	2 217 - 2 300
Castro Verde	2 191 - 2 318
Grândola	2 161 - 2 241
Mértola	2 197 - 2 290

Tabela 20 - Resultados da estimativa da capacidade específica de secagem para um ano típico nas instalações da região do Alentejo. (Continuação)

ETAR	Q_{sec}	
	kg/(m ² ano)	
Mértola	2 197	2 290
Montemor-o-Novo	2 194	2 203
Moura	2 230	2 306
Odemira	2 107	2 210
Ourique	2 176	2 273
Santiago do Cacém	2 130	2 225
Serpa	2 211	2 300
Vendas novas	2 167	2 183
Viana do Alentejo	2 216	2 276
Vidigueira	2 225	2 304
Ribeira de Moinhos	2 124	2 249
Évora	2 189	2 293

Para a UTMB da RESIALENTEJO estimou-se um potencial de secagem entre 4 313 kg/(m² ano) e 4 475 kg/(m² ano) de CDR, sendo este valor o mais elevado quando comparado com os resultados obtidos para a localização das instalações da GESAMB e AMCAL. No caso da secagem de lamas o local que evidenciou maior potencial é a ETAR de Almodôvar com uma capacidade estimada de secagem de 2 162 kg/(m² ano) a 2 332 kg/(m² ano).

A Tabela 21 apresenta os resultados da estimativa anual da capacidade de secagem para as províncias andaluzas.

Tabela 21 - Resultados da estimativa da capacidade específica de secagem para um ano típico nas províncias da Andaluzia.

	Q_{sec}	Q_{sec}
	CDR	Lamas
	kg/(m ² ano)	kg/(m ² ano)
Almeria	4 608	2 368
Cádiz	4 371	2 247
Córdoba	4 203	2 160
Granada	4 212	2 165
Huelva	4 615	2 372
Jaén	4 112	2 113
Málaga	4 197	2 157
Sevilla	4 413	2 267

Para a Andaluzia a estimativa do potencial técnico de secagem de CDR varia entre 4 112 kg/(m² ano) e 4 608 kg/(m² ano). Para a secagem de lamas provenientes da depuração águas residuais os valores encontram-se entre os 2 113 kg/(m² ano) e os 2 372 kg/(m² ano).

6. Conclusões

O relatório identifica os principais processos utilizados no tratamento de resíduos sólidos urbanos e depuração de águas residuais em Portugal e Espanha, verificando-se que existem um conjunto de processos térmicos que poderão ser alimentados com energia solar térmica, nomeadamente processos de secagem de lamas e combustíveis derivados de resíduos.

Foram identificadas as principais entidades responsáveis pelo tratamento destes resíduos e localizadas as principais estações de tratamento. Verificou-se que tanto as instalações de tratamento de águas residuais e de resíduos sólidos urbanos se apresentam de forma distribuída pelo território em análise (Algarve, Alentejo e Andaluzia).

Estimou-se a irradiância direta no plano normal para as localidades que possuem equipamentos de tratamento dos resíduos alvo de estudo neste documento, tendo-se observado que existe uma disponibilidade relevante de energia solar térmica para aplicações de secagem com utilização de sistemas solares concentradores.

O potencial de utilização da energia solar térmica nos processos de secagem em estudo no projeto SECASOL foi estimado em termos da quantidade de matéria que é possível secar por unidade de área de captação de energia solar. Para tal assumiram-se condições típicas destes processos.

Para o processo de secagem de CDR verificou-se que nas instalações do Algarve deverá ser possível secar entre 4 090 kg/(m² ano) e 4 566 kg/(m² ano), tendo em conta os valores de DNI estimados. Os valores estimados para o Alentejo encontram-se entre os 4 296 kg/(m² ano) e os 4 475 kg/(m² ano). Para a Andaluzia estes valores situam-se entre os 4 112 kg/(m² ano) e os 4 608 kg/(m² ano).

Para o processo de secagem de lamas provenientes de estações de depuramento de águas residuais verificou-se que nas instalações do Algarve deverá ser possível secar entre 2 067 kg/(m² ano) a 2 453 kg/(m² ano) de lamas, tendo em conta os valores de DNI estimados. Os valores estimados para o Alentejo encontram-se entre os 2 107 kg/(m² ano) e os 2 332 kg/(m² ano). Para a Andaluzia estes valores situam-se entre os 2 113 kg/(m² ano) e os 2 372 kg/(m² ano).

Estes valores representam uma estimativa global do potencial de utilização de energia solar térmica nestes processos de secagem que poderá ser considerada numa fase de planeamento e avaliação preliminar.

Referencias Bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente, 2017. Relatório Anual - Resíduos Urbanos.
- Aguiar, R., 2004. Procedimentos de Construção de Anos Meteorológicos Representativos para o RSECE. Lisboa.
- Aguiar, R., 1998. Dados Meteorológicos para Energias Renováveis e URE em Portugal (Projecto P-CLIMA) Relatório final do Projecto ALTENER XVII/4.1030/Z/98-92). Lisboa.
- Aguiar, R., 1996. Geração de Séries Meteorológicas Sintéticas para Portugal. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F., 2007. Sludge Treatment and Disposal. IWA, London.
- Andreozzi, R., Caprio, V., Insola, A., Marotta, R., 1999. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catal. today* 51–59.
- APDA, 2010. Valorização Energética de Lamas de ETAR nos Fornos de Cimento.
- Bahnemann, D., 1999. Photocatalytic detoxification of polluted waters, *The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin.
- Banegas, V., Moreno, J.L., Moreno, J.I., García, C., León, G., Hernández, T., 2007. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Manag.* 27, 1317–1327. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.09.008>
- Bitton, G., 2005. *Wastewater Microbiology*, 4th ed. John Wiley & Sons.
- Burrows, H.D., Canle, M., Santaballa, J.A., Steenken, K., 2002. Reaction pathways and mechanisms of photodegradation of pesticides. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 67, 71–108. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(02\)00277-4](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(02)00277-4)
- Cavaco, A., Silva, H., Canhoto, P., Neves, S., Neto, J., Pereira, M.C., 2016. Radiação Solar Global em Portugal e a sua variabilidade , mensal e anual 1–32. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15908.27527>
- CDCP, 2010. Centres for Disease Control and Prevention [WWW Document].
- Comninellis, C., Kapalka, A., Malato, S., Parsons, S.A., Poullos, I., Mantzavinos, D., 2008. Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 769–776. <https://doi.org/10.1002/jctb.1873>
- Cooper, P.I., 1973. The maximum efficiency of single-effect solar stills. *Sol. Energy* 15, 205–214. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(73\)90085-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(73)90085-6)
- CSEM - United Arab Emirates, 2013. Waste water Treatment using Solar UV Radiation [WWW Document]. UAE Innovarion Cent. LLC. URL www.csem-uae.com (accessed 7.19.15).
- Di Berardino, S., Miranda, M., 2018. Guidelines for wastewater treatment - Re-design of the dairy industry for sustainable milk processing, Susmilk Project (Derivable D4.5).
- Doll, T.E., Frimmel, F.H., 2015. Removal of selected persistent organic pollutants by heterogeneous photocatalysis in water. *Catal. Today* 101, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.03.005>

- Dufour, P., 2006. Control engineering in drying technology: Review and trends. *Dry. Technol.* 24, 889–904. <https://doi.org/10.1080/07373930600734075>
- Energy Waste, 2012. Review of alternative pre-treatment equipment [WWW Document]. URL [http://www.energywaste.gr/pdf/Deliverable 3.1 Review of alternative pretreatment equipment.pdf](http://www.energywaste.gr/pdf/Deliverable_3.1_Review_of_alternative_pretreatment_equipment.pdf)
- Eurostat, 2017. Waste Statistics/es. Regul. No 2150/2002 1–13.
- Fernández-Alba, A.R., Hernando, D., Aguera, A., Cáceres, J., Malato, S., 2002. Toxicity assays: a way for evaluating AOPs efficiency. *Water Res.* 36, 4255–4262. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00165-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00165-3)
- Fujishima, A., Rao, T.N., Tryk, D.A., 2000. Titanium dioxide photocatalysis. *J. Photochem. Photobiol. C Photochem. Rev.* 1, 1–21. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(00\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(00)00002-2)
- Gogate, P.R., Pandit, A.B., 2003. A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions. *Adv. Environ. Res.* 8, 501–551.
- Guillard, C., Disdier, J., Monnet, C., Dussaud, J., Malato, S., Blanco, J., Maldonado, M.I., Herrmann, J.-M., 2003. Solar efficiency of a new deposited titania photocatalyst: chlorophenol, pesticide and dye removal applications. *Appl. Catal. B Environ.* 46, 319–332. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(03\)00264-9](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(03)00264-9)
- Gumy, D., Bowen, C., Pulgarin, C., 2006. Catalytic activity of commercial of TiO₂ powders for the abatement of the bacteria (*E. coli*) under solar simulated light: Influence of the isoelectric point. *Appl. Catal. B Environ.* 63, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2005.09.013>
- Hay, S.O., Obe, T.N., 1999. The Augmentation of UV Photocatalytic Oxidation with TraceQuantities of Ozone. *Adv. Oxid. Technol.* 4, 209–218.
- Hincapié, M., Maldonado, M.I., Oller, I., Gernjak, W., Sánchez-Pérez, J.A., Ballesteros, M.M., Malato, S., 2005. Solar photocatalytic degradation and detoxification of EU priority substances. *2Catalysis Today* 101, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2005.03.004>
- Instituto de Geociências e ciências exatas -UNESP, 2015. Ciclo de gerenciamento de resíduos “da Geração à disposição.”
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2015. Temperatura média Período 1971-2000, Portugal (Continente) [WWW Document]. URL <http://portaldoclima.pt/pt/> (accessed 11.3.18).
- Kamat, P. V., Meisel, D., Weller, H., Eychmuller, A., 1996. Semiconductor Nanoclusters - Physical, Chemical and Catalytic Aspects. <https://doi.org/9780080540931>
- Karwat, B., Głowiński, D., Stańczyk, E., 2014. Using alternative fuels in the production of cement 25, 35–38.
- Kutscher, C., Burkholder, F., Stynes, K., 2010. Generation of a Parabolic Trough Collector Efficiency Curve from Separate Measurements of Outdoor Optical Efficiency and Indoor Receiver Heat Loss, in: NREL (Ed.), . p. 10.
- Malato, S., 2007. Waste water treatment by advanced oxidation processes (solar photocatalysis in degradation of industrial contaminants nts).

- Malato, S., Blanco, J., Vidal, A., Alarcón, D., Maldonado, M.I., Cáceres, J., Gernjak, W., 2003. Applied studies in solar photocatalytic detoxification: an overview. *Sol. Energy* 75, 329–336. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.017>
- Malato, S., Blanco, J., Vidal, A., Richter, C., 2002. Photocatalysis with solar energy at a pilot-plant scale: an overview. *Appl. Catal. B Environ.* 37, 1–15. [https://doi.org/Advanced oxidation processes \(AOPs\) are characterized by a common chemical feature: the capability of exploiting the high reactivity of OH radicals in driving oxidation processes which are suitable for achieving the complete abatement and through mineralization of even less reactive pollutants. This paper reviews the use of sunlight to produce OH radicals. The experimental systems necessary for performing pilot-plant scale solar photocatalytic experiments are described. It outlines the basic com](https://doi.org/Advanced%20oxidation%20processes%20(AOPs)%20are%20characterized%20by%20a%20common%20chemical%20feature%20the%20capability%20of%20exploiting%20the%20high%20reactivity%20of%20OH%20radicals%20in%20driving%20oxidation%20processes%20which%20are%20suitable%20for%20achieving%20the%20complete%20abatement%20and%20through%20mineralization%20of%20even%20less%20reactive%20pollutants.%20This%20paper%20reviews%20the%20use%20of%20sunlight%20to%20produce%20OH%20radicals.%20The%20experimental%20systems%20necessary%20for%20performing%20pilot-plant%20scale%20solar%20photocatalytic%20experiments%20are%20described.%20It%20outlines%20the%20basic%20com)
- Marco, A., Esplugas, S., Saum, G., 1997. How and why combine chemical and biological processes for wastewater treatment. *Water Sci. Technol.* 35, 321–327. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00041-3)
- Marinas, A., Guillard, C., Marinas, J.M., Fernández-Alba, A., Aguera, A., Herrmann, J.-M., 2001. Photocatalytic degradation of pesticide–acaricide formetanate in aqueous suspension of TiO₂. *Appl. Catal. B Environ.* 34, 241–252. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(01\)00219-3](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(01)00219-3)
- Matilainem, A., Sillanpaa, M., 2010. Removal of natural organic matter from drinking water by avaced oxidation processes. *Chemosphere* 80, 351–365. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.04.067>
- Melidis, P., Gikas, G.D., Akrotos, C.S., Tsihrintzis, V.A., 2010. Dewatering of primary settled urban sludge in a vertical flow wetland. *Desalination* 250, 395–398. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.063>
- Mendes, C., 2014. Métodos inovadores para a bio-secagem do CDR produzido na linha de processo da unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) – Caso de estudo na VALNOR SA.
- Metcalf & Eddy, 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, Fourth Edi. ed. New York.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, n.d. Atlas Climático Ibérico Iberian Climate Atlas Gobierno De España.
- Peiró, A.M., Ayllón, J.A., Peral, J., Doménech, X., 2001. TIO₂-photocatalyzed degradation of phenol and ortho-substituted phenolic compounds. *Appl. Catal. B Environ.* 30, 359–373. [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(00\)00248-4](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(00)00248-4)
- Pera-Titus, M., García-Molina, V., Baños, M.A., Giménez, J., Esplugas, S., 2004. Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review. *Appl. Catal. B Environ.* 47, 219–256. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2003.09.010>
- Pirkanniemi, K., Sillampaa, M., 2002. Heterogeneous water phase catalysis as an environmental application: a review. *Chemosphere* 48, 1047–1060.
- Rodriguez, M., Sarria, V., Esplugas, S., Pulgarin, C., 2002. Photo-Fenton treatment of a biorecalcitrant wastewater generated in textile activities: biodegradability of the photo-treated solution. *ournal Photochem. Photobiol. A Chem.* 151, 129–135. [https://doi.org/10.1016/S1010-6030\(02\)00148-X](https://doi.org/10.1016/S1010-6030(02)00148-X)

- Safarzadeh-Amiri, A., Bolton, J.R., Cater, S.R., 1996. The use of iron in advanced oxidation processes. *A J. Adv. Oxid. Technol.* 1, 18–26. <https://doi.org/10.1515/jaots-1996-0105>
- Sancho Ávila, J.M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez De Cos Escuin, M.C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M., 2012. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. *Aemet* 162. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.40.7247>
- Sarria, V., Parra, S., Adler, N., Péringer, P., Benítez, N., Pulgarin, C., 2002. Recent developments in the coupling of photoassisted and aerobic biological processes for the treatment of biorecalcitrant compounds. *Catal. Today* 76. [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(02\)00228-6](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(02)00228-6)
- Scott, J.P., 1995. Integration of Chemical and Biological Oxidation Processes for Water Treatment: Review and Recommendations. *Ollis* 14, 88–103. <https://doi.org/10.1002/ep.670140212>
- Scott, J.P., Ollis, D.F., 1996. Engineering Models of Combined Chemicals and Biological Processes. *J. Environ. Eng.* 122. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1996\)122:12\(1110\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1996)122:12(1110))
- Shifu, C., Gengyu, C., 2005. Photocatalytic Degradation of Organophosphorus Pesticides Using Floating Photocatalyst TiO₂-SiO₂/Beads by Sunlight. *Sol. Energy* 79, 1–9.
- Thomé, J.F., 2013. Tecnologias Disponíveis para Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos, in: Conferência Das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento Sustentável.
- Tiwari, G.N., Singh, H.N., Tripathi, R., 2003. Present status of solar distillation. *Sol. Energy* 75, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.07.005>
- Trindade Rodrigues Silva Moura, A.S., 2011. Diversidade molecular e transferência de integrões. Universidade de Aveiro.
- Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresour. Technol.* 100, 2747–2761. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>