

# GUIA TÉCNICO

## SISTEMAS DE SANEAMENTO DE PEQUENOS AGLOMERADOS POPULACIONAIS

Maio 2023



## Sistemas de Saneamento de Pequenos Aglomerados Populacionais

Este Guia Técnico foi desenvolvido pela Associação para a Formação e o Desenvolvimento em Engenharia Civil e Arquitectura do IST (FUNDEC) para a Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores (ERSARA).

Pretende-se que o presente documento inclua as linhas orientadoras para o planeamento, projeto e construção de sistemas de saneamento para pequenos aglomerados, isto é, com populações servidas inferiores a 1000 habitantes equivalentes. Especial ênfase é dada aos sistemas de saneamento por fossa séptica, incluindo disposição final de efluentes líquidos e de lamas.

**Autores:** Rita Ventura Matos, Filipa Ferreira e José Saldanha Matos

**Responsável:** José Saldanha Matos

**Entidade Financiadora:** Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores





## ACRÓNIMOS

CBO<sub>5</sub> – Carência Bioquímica de Oxigénio (aos 5 dias e a 20°C)

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETLF – Estação de Tratamento de Lamas Fecais

FS – Fossa Séptica

MBR – *Membrane Bio Reactor* (reator de membrana)

Qi – Caudal de infiltração

Qm – Caudal médio

Qp – Caudal de ponta

Qr – Caudal de recirculação

PAH – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PCB - Bifenilos policlorados

RAA – Região Autónoma dos Açores

RAAQSARA - Relatório Anual de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores

REAA – Relatório do Estado do Ambiente dos Açores

SBR – *Sequencing Batch Reactor*

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

TRH – Tempo de retenção hidráulica

THM - Trihalometanos



# ÍNDICE DE TEXTO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e âmbito do Guia	1
1.3	Estrutura do documento	1
<b>2</b>	<b>ENQUADRAMENTO</b>	<b>3</b>
2.1	Sector de água e saneamento na RAA	3
2.2	Enquadramento legal e normativo	5
<b>3</b>	<b>SISTEMAS DE SANEAMENTO PARA PEQUENOS AGLOMERADOS</b>	<b>9</b>
3.1	Soluções de tratamento e disposição final de efluentes e lamas	9
3.2	Princípios de funcionamento	11
3.2.1	Tratamento primário	11
3.2.2	Tratamento secundário	14
3.2.3	Disposição final e reutilização de efluentes de fossas sépticas	17
3.2.4	Tratamento e deposição de lamas	18
3.3	Árvore de decisão para soluções de saneamento de pequenos aglomerados	20
3.4	Princípios de gestão dos sistemas	23
<b>4</b>	<b>CRITÉRIOS E EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO</b>	<b>25</b>
4.1	Estimativa de caudais	25
4.2	Drenagem e estruturas de distribuição de caudal	26
4.3	Sistemas de drenagem de pequenos aglomerados	27
4.4	Unidades de tratamento	28
4.4.1	Fossas Sépticas	28
4.4.2	Tanque Imhoff	30
4.4.3	Leitos de macrófitas	31
4.4.4	ETAR compactas	36
4.4.5	Lagunagem	39
4.4.6	Considerações finais	42
4.5	Disposição final de efluentes de fossas sépticas	43
4.5.1	Trincheiras de infiltração	43
4.5.2	Poços filtrantes	45

4.5.3	Aterros filtrantes	47
4.5.4	Plataformas de evapotranspiração	48
4.6	Estabilização e deposição final de lamas	50
4.6.1	Aspetos gerais	50
4.6.2	Leitos de secagem	52
4.6.3	Leitos de secagem plantados	53
4.6.4	Compostagem	55
4.6.5	Estabilização química	57
4.7	Exemplo de dimensionamento	59
<b>5</b>	<b>ASPETOS CONSTRUTIVOS</b>	<b>61</b>
5.1	Seleção de locais	61
5.2	Avaliação do tipo de solo e nível freático	62
5.3	Materiais e técnicas construtivas	63
5.3.1	Construção <i>in situ</i>	63
5.3.2	Soluções compactas	70
<b>6</b>	<b>OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO</b>	<b>71</b>
6.1	Controlo Operacional	71
6.2	Operação e manutenção de fossas sépticas	75
6.3	Operação e manutenção de leitos de macrófitas	78
6.4	Operação e manutenção de ETAR compactas	79
6.5	Operação e manutenção no tratamento de lamas	80
6.6	Principais problemas operacionais	81
<b>7</b>	<b>REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES E BIOSÓLIDOS: ECONOMIA CIRCULAR</b>	<b>85</b>
7.1	Reutilização de água tratada	86
7.2	Reutilização de biosólidos	89
<b>8</b>	<b>SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>95</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>99</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Número e tipo de instalações de tratamento de águas residuais existentes na RAA em 2018 (adaptada de DRA, 2020)	4
Figura 3.1 – Representação esquemática de gestão de efluentes de pequenos aglomerados (adaptado de Bakir, 2001)	9
Figura 3.2. Sequências elegíveis de tratamento de águas residuais para pequenos aglomerados (ANAS, 2018)	11
Figura 3.3 – Vista de um Tanque Imhoff	14
Figura 3.4 - Exemplo de tipos de leitos de macrófitas (Dotro et al., 2017)	16
Figura 3.5 - Árvore de decisão para soluções de tratamento de pequenos aglomerados (< 1000 h.e.)	21
Figura 3.6 - Árvore de decisão para disposição final de efluentes de fossas séticas e tanque Imhoff em pequenos aglomerados (< 1000 h.e.)	22
Figura 4.1 – Sistema condominial em Brasília (Melo, 2005)	27
Figura 4.2 – Esquema de fossa sética de 2 compartimentos (adaptado de Shrestha, R. 2020)	29
Figura 4.3 – Representação esquemática de um tanque Imhoff	30
Figura 4.4 – Pormenor de secção tipo de leito de macrófitas	34
Figura 4.5 – Ilustração de implantação e secção de um leito de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal	35
Figura 4.6 – ETAR compacta Suez Water Technology & Solutions	38
Figura 4.7 – ETAR compacta por MBR no Líbano (crédito: SuSanA)	38
Figura 4.8 – ETAR compacta por SBR (Ecodepur, S.A.)	38
Figura 4.9 – Vista de ETAR de lagunagem de Ponte dos Leites (Águas de Juturnaíba, Brasil)	39
Figura 4.10 – Esquema de tratamento de efluentes por lagunagem (adaptado de Tilley et al., 2014)	40
Figura 4.11 – Secção tipo de trincheira de infiltração	43
Figura 4.12 – Implantação de trincheiras de infiltração a jusante de fossa sética	44
Figura 4.13 – Exemplo de Poço de infiltração	45
Figura 4.14 – Exemplo de implantação de poços filtrantes	46
Figura 4.15 – Exemplo de esquema de camadas de um aterro filtrante	47
Figura 4.16 - Exemplo de corte e pormenores de plataforma de evapotranspiração	49
Figura 4.17 – Esvaziamento de fossa sética (ERSAR, 2017)	50
Figura 4.18 – Esquema usual de tratamento de lamas de pequenos aglomerados	51
Figura 4.19 – Estação de Tratamento de Lamas Fecais de Devanahalli, Índia (crédito: SusAnA)	51
Figura 4.20 – Pormenor de alimentação de leito de secagem	52
Figura 4.21 – Leitões de secagem de lamas	53
Figura 4.22 – Representação esquemática de leito de secagem plantado (adaptado de Tilley et al., 2014)	54
Figura 4.23 – Leitões de secagem plantados (Baltic Smart Water Hub)	54
Figura 4.24 – Pilhas de compostagem (Veolia, 2022)	56
Figura 4.25 – Exemplo de silo de lamas e de cal para estabilização e armazenamento de lamas	57
Figura 4.26 – Plataforma de estabilização de lamas	58

Figura 5.1 - Representação esquemática de uma fossa séptica com 2 compartimentos: planta e corte	63
Figura 5.2 - Representação esquemática de uma fossa séptica com 3 compartimentos: plantas e cortes	64
Figura 5.3 – Pormenor de ligação em Tê entre compartimentos de fossa	64
Figura 5.4 - Representação esquemática de tanque Imhoff: plantas e cortes	65
Figura 5.5 – Imagens de poços de infiltração (Grupo MT, pozosdeabsorcion)	67
Figura 5.6 - Planta e cortes esquemáticos de leitos de secagem de lamas	68
Figura 5.7 – Esquema de leito de secagem plantado (adaptado de Nielsen e Stefanakis, 2020)	69
Figura 5.8 – Instalação de aterro filtrante a jusante de um sistema de tratamento compacto (Crédito: US EPA).	70
Figura 6.1 – Verificação do nível do efluente no interior de uma fossa séptica.	76
Figura 6.2 - Diagnóstico do funcionamento de fossas sépticas (ANAS, 2018)	76
Figura 6.3 – Descarga de camião limpa fossas na obra de entrada de uma ETAR (Strande et al., 2014)	77
Figura 6.4 – Exemplo de manutenção de plantas macrófitas (crédito: SuSanA)	78
Figura 6.5 – Limpeza de compartimento enterrado por camião (Crédito: ForeverClean.com)	79
Figura 7.1 – Fluxos da água (adaptado de IWA, 2016)	85
Figura 7.2 – Produção de fertilizante natural por compostagem na ETAR de Parada	91
Figura 7.3 – Exemplo de peletizadora (Bioburn®)	92

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1.1 – Organização da Norma EN 12566	7
Quadro 3.1 – Elementos de um programa de gestão de sistemas de saneamento descentralizados (adaptado de EPA, 2005)	24
Quadro 4.1 – Equivalentes Populacionais	25
Quadro 4.2 – Critérios de dimensionamento de fossas sépticas (adaptado de AIAS, 2017 e Bartolomeu, 1996)	29
Quadro 4.3 - Critérios de dimensionamento de tanque Imhoff (adaptado de Bartolomeu, 1996)	30
Quadro 4.4 – Principais mecanismos de tratamento em leitos de macrófitas (adaptado de Dotro et al., 2017; Kadlec e Wallace, 2009)	31
Quadro 4.5 - Critérios de dimensionamento dos leitos de macrófitas	33
Quadro 4.6 - Coeficiente de taxa de primeira ordem (adaptado de Kadlec e Wallace, 2009)	34
Quadro 4.7 – Critérios de dimensionamento da gradagem (adaptado de Metcalf & Eddy, 2014)	36
Quadro 4.8 – Critérios de dimensionamento de lamas ativadas em arejamento prolongado (Metcalf & Eddy, 2014)	38
Quadro 4.9 – Critérios de dimensionamento de lagoas anaeróbias (adaptado de Von Sperling, 2006)	40
A altura de água considerada inicialmente pode ser de cerca de 2 metros, enquanto o sistema funcionar em anaerobiose. Pode-se prever uma altura elevada de bordo livre, para flexibilização futura, se houver necessidade de arejamento das lagoas. Nesses casos deve prever-se uma lagoa de decantação, devido ao aumento expectável das lamas produzidas.	
Quadro 4.10 – Critérios de dimensionamento de lagoas facultativas (adaptado de Von Sperling, 2006)	41
Quadro 4.11 – Critérios de dimensionamento de lagoas de maturação (adaptado de Von Sperling, 2006)	42
Quadro 4.12 - Dimensionamento da trincheira de infiltração de acordo com as propriedades de permeabilidade do solo (adaptado de Bartolomeu, 1996)	44
Quadro 4.13 – Critérios de dimensionamento de poço absorvente (adaptado de Bartolomeu, 1996 e Morais, 1962)	46
Quadro 4.14 - Critérios de dimensionamento dos leitos de secagem de lamas	52
Quadro 4.15 – Critérios de dimensionamento de leitos de secagem plantados (Nielsen, 2007; Tilley <i>et al.</i> , 2014)	54
Quadro 4.16 – Critérios de dimensionamento de compostagem de lamas (adaptado de Strande et al., 2014; Eawag e IWMI, 2003; Kingel et al., 2002)	55
Quadro 4.17 – Critérios de dimensionamento de estabilização química	58
Quadro 5.1 – Distâncias mínimas recomendadas para instalação de unidades de tratamento para pequenos aglomerados (adaptado de NYSDH, 2012)	61
Quadro 6.1 - Estimativa da frequência de limpeza de fossas sépticas, em anos (Vogel, 2005)	77
Quadro 6.2 – Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: Obra de entrada e fossa séptica	81
Quadro 6.3 - Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: Leitos de macrófitas	82
Quadro 6.4 - Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: ETAR compacta por lamas ativadas	83
Quadro 7.1 – Descrição das classes de rega, usos e nível de tratamento adequado, de acordo com DL 119/2019	86

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Os sistemas de saneamento convencionais, baseados em redes de drenagem e estações de tratamento de águas residuais, apresentam-se, em regra, como uma solução adequada para zonas urbanas, em que a densidade populacional e os consumos de água são bastante elevados. No entanto, em zonas rurais ou de baixa densidade populacional, estes sistemas não constituem, frequentemente, a melhor alternativa. Ao analisar as opções de transporte de águas residuais, devem ser consideradas soluções descentralizadas (“*on-site*”) ou soluções centralizadas, dependendo nomeadamente: i) da densidade populacional e, ii) da orografia e topografia.

A construção de redes gravíticas de coletores justifica-se quando o consumo de água e a densidade populacional são suficientemente elevados para garantir condições de autolimpeza e de viabilidade económica. Nos restantes casos, as soluções *on-site* devem ser preferidas, com base no tratamento local. Desta forma, para um melhor enquadramento da situação torna-se relevante conhecer a realidade do sector de água e saneamento da Região Autónoma dos Açores (RAA), bem como os princípios inerentes ao funcionamento de cada sistema de tratamento de efluentes e lamas, conforme se aborda nos capítulos seguintes.

## 1.2 Objetivos e âmbito do Guia

Pretende-se um Guia Técnico que estabeleça as linhas orientadoras gerais para o planeamento e a execução de sistemas de saneamento para pequenos aglomerados, em particular no que respeita a sistemas de fossas sépticas, incluindo

disposição final de efluentes líquidos e de lamas.

O Guia aborda os princípios de funcionamento desse tipo de sistemas, os critérios de dimensionamento, os aspetos construtivos e a operação e manutenção, bem como o enquadramento legal e regulamentar aplicável.

## 1.3 Estrutura do documento

O Guia é constituído por 8 capítulos e 1 Anexo.

Para além do presente capítulo introdutório, aborda-se no **capítulo 2** o enquadramento legal do sector de saneamento na região autónoma dos Açores. No **capítulo 3** apresentam-se sumariamente as soluções de saneamento adequadas para pequenos aglomerados, os princípios de funcionamento e a árvore de decisão de apoio á seleção das melhores tecnologias alternativas.

O **capítulo 4** lista os critérios de dimensionamento de cada alternativa de tratamento elegível, ilustrando-se igualmente exemplos de dimensionamento. No **capítulo 5** abordam-se os principais aspetos construtivos dos sistemas, bem como a avaliação do tipo de solo e níveis freáticos, enquanto o **capítulo 6** se refere às principais atividades de operação e manutenção.

No **capítulo 7** apresentam-se princípios para a reutilização de efluentes e biosólidos (lamas estabilizadas). O Guia termina com o **capítulo 8** de síntese e recomendações, seguido da listagem de referências bibliográficas.

Em Anexo apresentam-se desenhos-tipo das soluções de tratamento mais comuns.



## 2 ENQUADRAMENTO

### 2.1 Sector de água e saneamento na RAA

#### DISPONIBILIDADE E CONSUMO DE ÁGUA

As reservas hídricas subterrâneas no arquipélago dos Açores, divididas por recursos hídricos subterrâneos e superficiais, encontram-se estimadas em cerca de 1 995.3 hm/ano, variando entre um mínimo de 13.8 hm/ano, na ilha do Corvo, e um máximo de 582.3 hm/ano, estimados para a ilha do Pico (DRA, 2020).

No que se refere aos usos de água, estes encontram-se distribuídos nas tipologias de uso urbano ou doméstico, turismo, agricultura e pecuária, indústria, produção de energia e outros usos. Naturalmente, que na região as necessidades absolutas de água se relacionam com a dimensão e desenvolvimento socioeconómico de cada ilha. Neste sentido, estima-se que São Miguel represente a maior fração de necessidade absolutas de água (59%) seguida da Ilha Terceira (22%), de acordo com os dados do Relatório do Estado do Ambiente dos Açores (REAA) 2017-2019 (DRA, 2020).

Em termos de necessidades de água per capita, para todas as tipologias de uso, verifica-se um aumento nos valores no período de 2013-2018, variando entre 92 e 143 m<sup>3</sup>/hab.ano nas ilhas de Santa Maria e São Jorge, respetivamente. Ainda de acordo com o REAA, desagregando as necessidades de água pelas diferentes atividades, observa-se que os usos urbanos são os mais significativos, representando 56% das necessidades absolutas de água, seguindo-se a pecuária (30%) e por fim a indústria, a energia, o turismo e os outros usos, que representam apenas 13% das necessidades absolutas de água nos Açores (DRA, 2020). O número de habitações com acesso a água canalizada na RAA representa, desde

1991, mais de 90% do total de frações (PGRH, 2015).

Para satisfação das necessidades de água, constata-se que os recursos hídricos subterrâneos satisfazem aproximadamente 98% das diferentes utilizações. A RAA contava em 2013 com um total de 179 zonas de abastecimento (área geográfica servida por um sistema público de abastecimento de água), com cerca de 35% de perdas de água estimadas (PGRH, 2015).

No que respeita à avaliação dos serviços de abastecimento público de água, de acordo com o RAAQSARA (2021), verificaram-se em 2020 resultados positivos, ao nível da acessibilidade deste serviço em áreas mediamente urbanas, da acessibilidade económica, da frequência de leitura dos contadores, da divulgação dos dados de qualidade da água, da forma de leitura de contadores e da capacidade de reserva de água.

Verificou-se, no entanto, que existem ainda oportunidades de melhoria ao nível da adequação da interface com o utilizador, da resposta a reclamações e sugestões, à conformidade funcional dos contadores e à implementação dos perímetros de proteção. No que se refere à sustentabilidade da gestão do serviço e ambiental, são igualmente identificadas as áreas que requerem uma maior atenção por parte das entidades gestoras, designadamente no âmbito da cobertura de gastos totais, água não faturada (inclui não só as perdas reais e aparentes, mas também o consumo autorizado não faturado) e cumprimento do licenciamento de captações.

## DRENAGEM E TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

As infraestruturas associadas aos sistemas de drenagem e tratamento de águas residuais são, de um modo geral, de pequena dimensão e de implantação dispersa, que procuram satisfazer isoladamente as populações e as atividades económicas da Região (DRA, 2020).

De acordo com o RAAQSARA de 2019, foram cadastradas em 2018, 17 Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) em funcionamento e 221 Fossas Sépticas Coletivas (FS Coletivas), conforme representado na Figura 2.1. Dados mais recentes indicam um aumento no número de ETAR em Ponta Delgada, para um total de 4 (SMAS Ponta Delgada).

Refira-se que os concelhos sem dados, são maioritariamente servidos por fossas sépticas individuais ou unifamiliares. É assim possível observar que as ligações domiciliárias à rede de drenagem são ainda incipientes. Segundo o Plano de Gestão de Recursos Hídricos de 2016-2021 (PGRH, 2015), estima-se em cerca de apenas 31% a população residente com ligação aos sistemas públicos de drenagem e tratamento de águas residuais.

As atividades industriais com sistemas de tratamento individuais são sujeitas a título de utilização de recursos hídricos, onde São Miguel é a ilha onde existem mais indústrias licenciadas para a rejeição de águas residuais (22), seguida da ilha Terceira com 10 unidades. As explorações intensivas de aves e gado suíno com instalações de tratamento de efluentes concentram-se na ilha de São Miguel, num total de 4 aviculturas e 2 suiniculturas (DRA,2020). Segundo a mesma fonte, todas as ilhas dos Açores, à exceção da ilha do Faial, dispõem de um matadouro com sistema de tratamento de águas residuais devidamente licenciado.

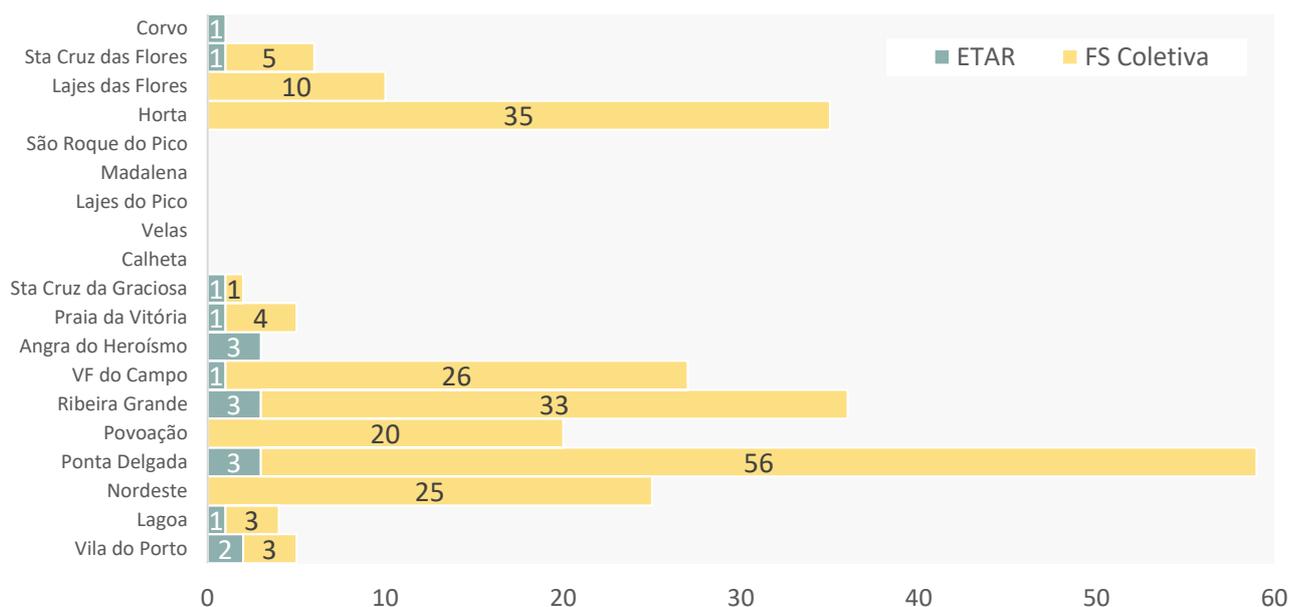


Figura 2.1. Número e tipo de instalações de tratamento de águas residuais existentes na RAA em 2018 (adaptada de DRA, 2020)

## 2.2 Enquadramento legal e normativo

### TRATAMENTO E REJEIÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Em termos de legislação, o tratamento de águas residuais urbanas em Portugal é regulado pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, que transpõe a Diretiva 91/271/CEE do Conselho Europeu, de 21 de maio de 1991, aprovando as disposições aplicáveis à recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas no meio aquático, bem como a lista de zonas sensíveis e de zonas menos sensíveis para o território continental.

O Decreto-Lei n.º 261/99, de 7 de julho, veio abranger às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira as obrigações da Diretiva e alterar o anexo II do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, relativamente à delimitação das zonas menos sensíveis. Posteriormente, o Decreto-Lei n.º 172/2001, de 26 de maio, o Decreto-Lei n.º 149/2004, de 22 de junho e o Decreto-Lei n.º 198/2008, de 8 de outubro, alteraram sucessivamente o Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, no que se refere essencialmente à lista de zonas sensíveis.

Posteriormente, o Decreto-Lei n.º 77/2021, de 27 de agosto, procede à 7.ª alteração do quadro aplicável às zonas sensíveis relativas ao tratamento de águas residuais urbanas e a Portaria n.º 188/2021, de 8 de setembro, identifica as novas zonas sensíveis e menos sensíveis.

A rejeição de águas residuais é ainda realizada tendo em conta os princípios da precaução, da prevenção e da correção referidos no n.º 1 do artigo 3.º da Lei da Água, estando os respetivos procedimentos de licenciamento estabelecidos no Decreto-Lei n.º 226-A/2007, de 31 de maio.

O Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A estabelece o regime jurídico da recolha, tratamento e descarga de águas residuais urbanas. O decreto transpõe para o direito regional a legislação comunitária do setor, introduzindo-se normas com o intuito de cumprir objetivos de preservação dos ecossistemas aquáticos, proteção do ser humano face aos efeitos nocivos

provocados pelas descargas de águas residuais urbanas e assegurar a manutenção do bom estado ecológico das massas de água, no contexto do território açoriano. Determina -se também a proibição da rejeição de efluentes urbanos, qualquer que seja o método de tratamento preconizado, nas lagoas e albufeiras dos Açores e nos cursos de água a elas afluentes e qualificam -se como sensíveis todos os restantes cursos de água, qualquer que seja a sua dimensão ou natureza.

No âmbito da legislação comunitária, a Diretiva 91/271/CEE do Conselho Europeu, de 21 de maio de 1991, vulgarmente designada como Diretiva das Águas Residuais Urbanas (DARU), e tem como objetivo primordial “proteger o ambiente dos efeitos nefastos das descargas de águas residuais urbanas” para aglomerados populacionais superiores a 2000 habitantes equivalentes. Foi alterada pela Diretiva 98/15/CE da Comissão Europeia, de 27 de fevereiro de 1998 e pelos regulamentos (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de setembro e n.º 1137/2008, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de outubro de 2008.

Estas Diretivas foram transpostas para a legislação portuguesa, respetivamente, pelo Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho e pelo Decreto-Lei n.º 348/98, de 9 de novembro.

No âmbito do processo de revisão da DARU, que está atualmente a ser levado a cabo pela Comissão Europeia/estados-membros, decorreu até ao dia 21 de julho de 2021, um processo de consulta pública dirigido a todos os interessados. Para a revisão da DARU foram identificadas um conjunto de áreas que carecem de melhorias, destacando-se entre elas o facto de que a poluição proveniente de efluentes de aglomerações mais pequenas não se encontra atualmente abrangida na mesma medida pela Diretiva anterior, o que deverá ser colmatado.

Muito recentemente, em finais de outubro de 2022, foi partilhada a proposta de revisão pela Comissão Europeia.

## PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA REUTILIZAÇÃO

O Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização para usos não potáveis.

O regime distingue os sistemas (centralizados e descentralizados), os diferentes usos e requisitos da água (nomeadamente usos não potáveis como irrigação, industriais, urbanos, etc, usos “*fit-for-purpose*” e licenças de produção e utilização autónomas), bem como o grau de avaliação de risco a obedecer.

A Portaria n.º 266/2019 de 26 de agosto, aprova a informação e a sinalética a utilizar pelos produtores e utilizadores de água para reutilização.

O Regulamento (EU) 2020/741 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de maio de 2020, estabelece os requisitos mínimos para a reutilização da água, cujas regras entrarão em vigor em junho de 2023.

Nesse contexto, as águas residuais de aglomerações com uma população total equivalente inferior a 2 000 só deverão ser abrangidas pelo âmbito de aplicação do presente regulamento se entrarem num sistema coletor e forem sujeitas a tratamento numa estação de tratamento de águas residuais urbanas (nos termos da Diretiva 91/271/CEE).

## UTILIZAÇÃO DE LAMAS DE DEPURAÇÃO EM SOLOS AGRÍCOLAS

A utilização na agricultura de lamas de depuração provenientes de estações de tratamento de águas residuais através da sua aplicação em solos agrícolas, encontra-se regulada pelo Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro, que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de junho. Este diploma estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, de forma a evitar efeitos nocivos. O diploma é aplicável não só a lamas provenientes de tratamento em ETAR, como lamas provenientes de fossas sépticas e instalações similares.



## NORMALIZAÇÃO

### Normas Europeias

Como documentação de referência adicional, destacam-se o conjunto de Normas Europeias **EN 12566**, que estabelecem os requisitos gerais relativos a instalações e equipamentos auxiliares utilizados no tratamento de águas residuais domésticas para uma população total equivalente igual ou inferior a 50.

Quadro 1.1 – Organização da Norma EN 12566

Parte 1:	Fossas sépticas pré-fabricadas
Parte 2:	Sistemas de infiltração no solo
Parte 3:	Estações de tratamento de águas residuais domésticas compactas e/ou instaladas no local
Parte 4:	Fossas sépticas construídas no local a partir de elementos pré-fabricados
Parte 5:	Sistemas de filtração de efluentes previamente tratados
Parte 6:	Unidades pré-fabricadas de tratamento secundário de efluentes de fossas sépticas
Parte 7:	Unidades pré-fabricadas de tratamento terciário

Estas normas estabelecem requisitos e instruções de instalação, operação e manutenção dos sistemas.

Caso se trate de uma população total equivalente superior a 50, destacam-se as normas **EN 12255**, que estabelecem requisitos para estruturas e equipamentos de componentes de ETAR. Estas normas dividem-se em 16 partes referentes a processos unitários de tratamento, bem como outros temas relacionais com controlo e automação ou procedimentos de segurança.

### Normas internacionais ISO

A nível de normalização internacional, refere-se também a norma ISO 24521 - *Activities relating to drinking water and wastewater services - Guidelines for the management of basic on-site domestic*

*wastewater services* (Atividades relacionadas com serviços de água potável e de águas residuais -- Diretrizes para a gestão de serviços básicos de águas residuais domésticas no local).

Esta norma estabelece orientações para a gestão dos serviços, quer esta seja de natureza pública ou privada, cobrindo as diversas escalas dos sistemas, desde sistemas de latrina e/ou fossa séptica, a redes de drenagem e instalação de tratamento centralizadas.



# 3 SISTEMAS DE SANEAMENTO PARA PEQUENOS AGLOMERADOS

## 3.1 Soluções de tratamento e disposição final de efluentes e lamas

Os pequenos aglomerados referem-se tipicamente a aglomerados até cerca de 2000 habitantes (1000 habitantes na proposta de revisão da DARU). Nestas situações, a simplicidade de funcionamento dos sistemas de tratamento é especialmente importante pelo que devem ser evitadas instalações com componentes mecânicas e elétricas complexas (Sasse, 1998; Morais, 1962).

A gestão de sistemas de tratamento de efluentes de pequenos aglomerados pode compreender vários subsistemas menores (ou *clusters*) para recolha, tratamento e reutilização (Bakir, 2001; Engin e Demmir, 2006). A dimensão de cada subsistema é determinada pelos limites administrativos, capacidade de drenagem, e outras condições sociais e económicas prevaletentes. A Figura 3.1 apresenta o conceito da possível gestão de efluentes de pequenos aglomerados a diversas escalas.

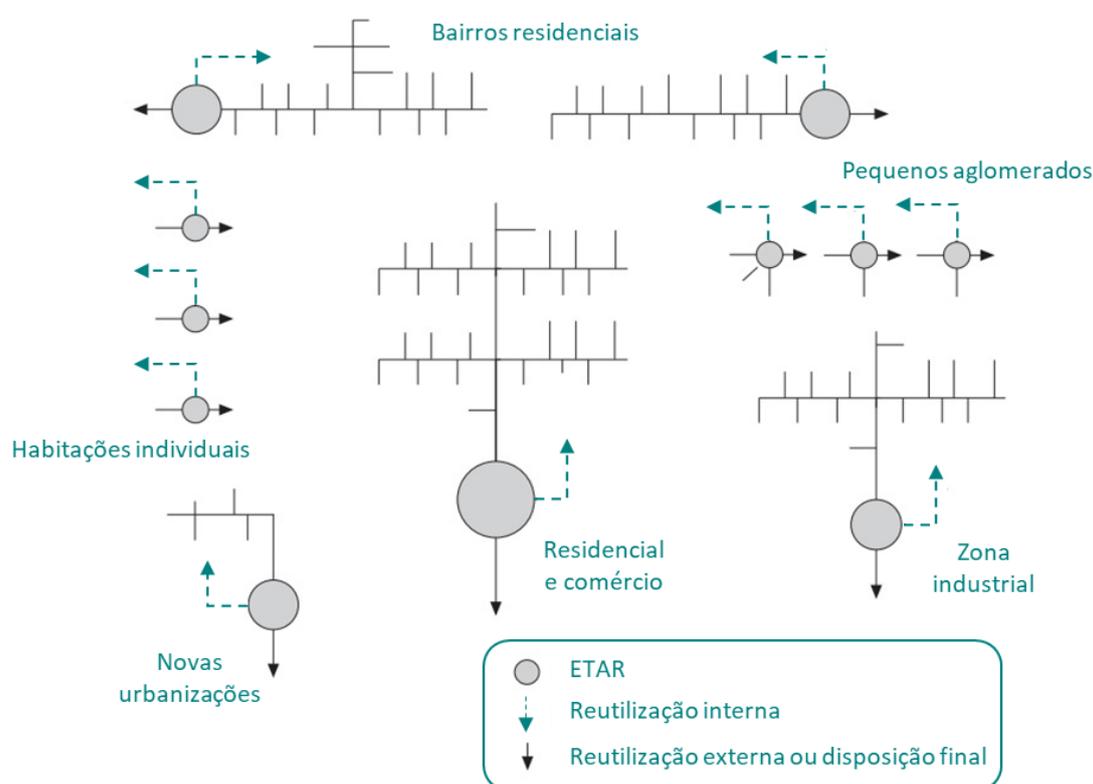


Figura 3.1 – Representação esquemática de gestão de efluentes de pequenos aglomerados (adaptado de Bakir, 2001)

Existem várias opções tecnicamente viáveis para os sistemas de saneamento de pequenos aglomerados populacionais, que compreendem, designadamente, o transporte, tratamento primário, tratamento complementar e destino final de efluentes e de lamas decorrentes do processo.

Os critérios de seleção de processos de tratamento devem refletir a escolha da solução mais vantajosa do ponto de vista económico, social, técnico e ambiental, tendo em atenção o menor custo total atualizado, e dependem, em regra, dos seguintes fatores:

- eficiências de depuração pretendidas;
- garantia de eficiência face à variabilidade do caudal e das cargas poluentes;
- adaptabilidade às condições locais, tais como topografia, área disponível, integração ambiental; natureza dos solos de fundação, níveis freáticos, condições climáticas e distância às origens de água para abastecimento público;

- exigência de mão-de-obra qualificada;
- interesse em reutilizar a água residual tratada ou as lamas tratadas (biosólidos).
- custos associados a cada solução e disponibilidade económica da entidade gestora (incluindo investimento inicial, encargos de operação e manutenção).

No âmbito da implantação e execução das infraestruturas devem ser tidos em conta elementos como a topografia do terreno, as condições urbanísticas e as condições de acesso (NYSDH, 2012; ANAS, 2018).

A utilização de fossas sépticas é permitida em locais onde não exista uma rede pública de saneamento a pelo menos 20 metros do limite da propriedade.

Na Figura 3.2 ilustram-se algumas sequências usuais (listagem não extensiva) de tratamento de águas residuais para pequenos aglomerados, com ênfase em fossas sépticas e tanques Imhoff.

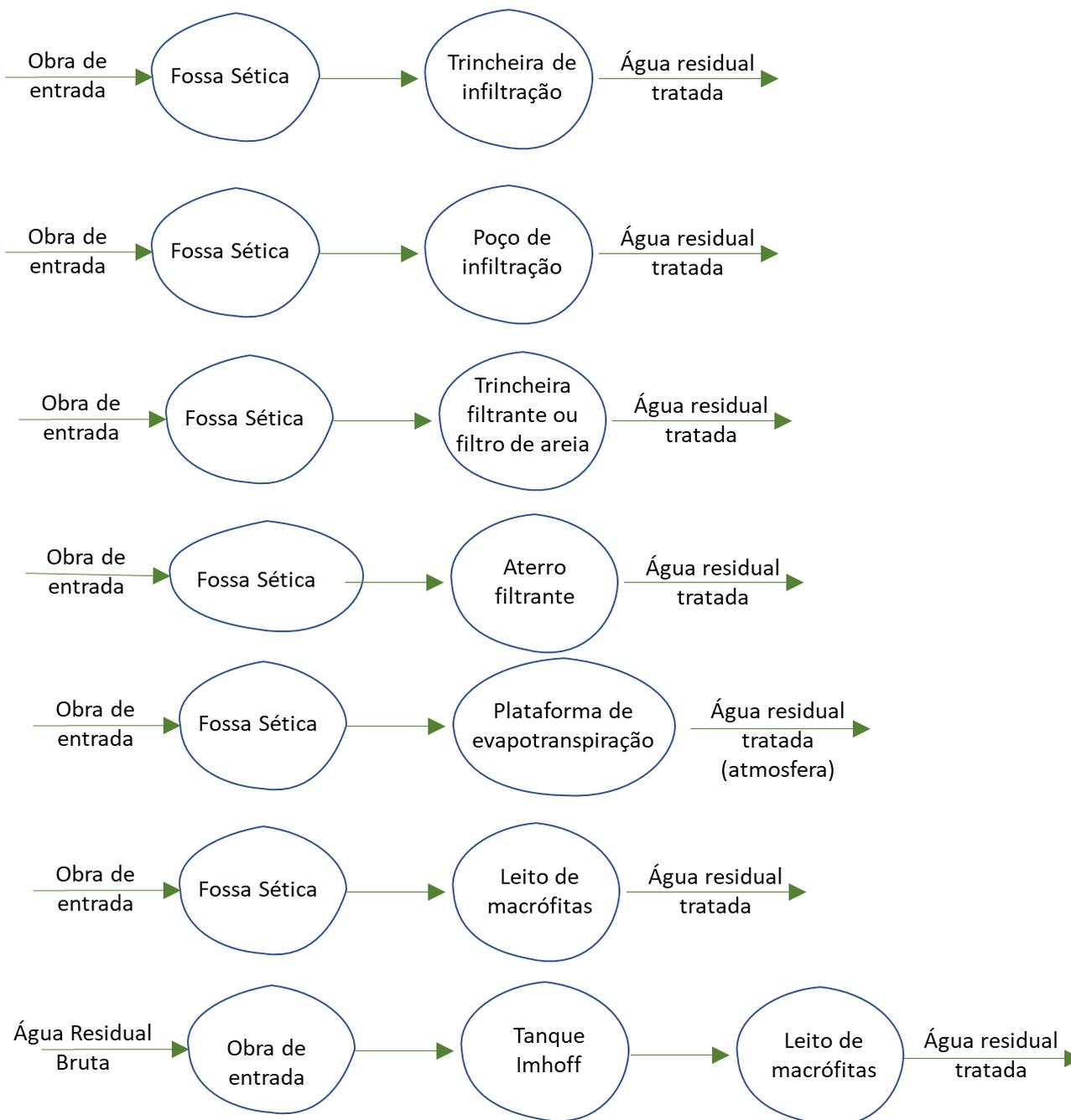


Figura 3.2. Seqüências elegíveis de tratamento de águas residuais para pequenos aglomerados

## 3.2 Princípios de funcionamento

### 3.2.1 Tratamento primário

O tratamento primário visa a decantação de sólidos em suspensão e de parte da matéria orgânica presente na água residual (Metcalf & Eddy, 2014), podendo ser assegurado por fossa séptica ou tanque Imhoff, por exemplo, que

apresentam custos de operação e manutenção muito reduzidos e não necessitam, usualmente, de energia elétrica.

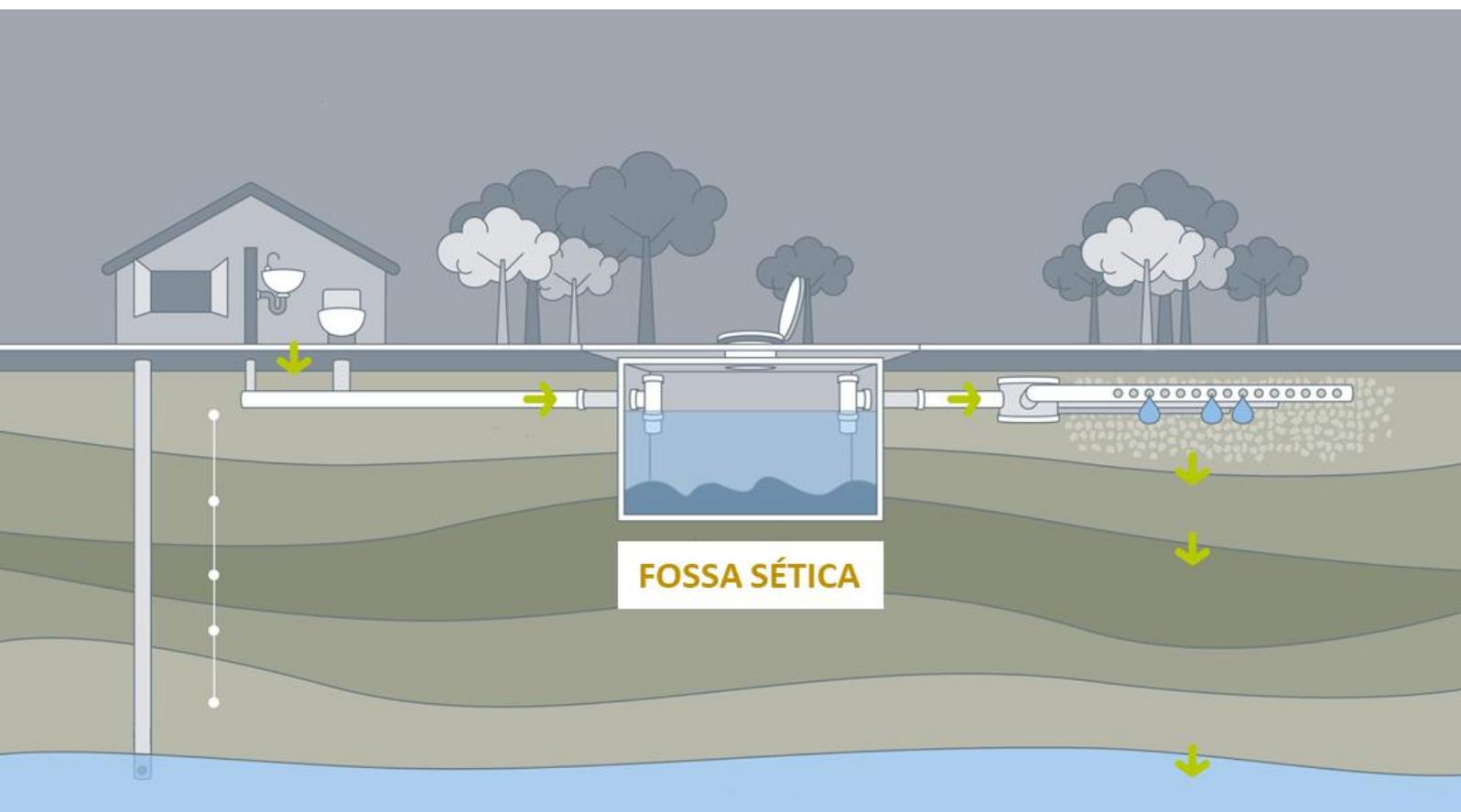
## FOSSAS SÉTICAS

A fossa séptica é um reservatório estanque enterrado, construído usualmente em betão, fibra de vidro, PVC ou plásticos, composto por duas ou mais câmaras, e tem como função o tratamento primário de águas residuais através da retenção do efluente durante períodos de tempo relativamente baixos, entre 1 a 3 dias, que levam à separação dos sólidos suspensos (Bartolomeu, 1996).

Tipicamente, as fossas sépticas recebem águas residuais domésticas e podem ser instaladas de forma a servir uma única habitação, um conjunto de habitações, ou construções de serviço público como escolas ou hospitais.

As fossas sépticas podem ser construídas 'in situ' mas atualmente a instalação de fossas pré-fabricadas é prática bastante comum. O tratamento preconizado pela fossa está ao nível de um tratamento primário, e a sua utilização implica sempre a construção de um órgão de tratamento complementar a jusante para os efluentes e tratamento específico para as lamas fecais, resultantes da deposição dos sólidos suspensos.

As águas residuais afluentes à fossa séptica são sujeitas a tratamento físico (por sedimentação e flotação) e biológico (por digestão anaeróbia ou fermentação séptica), que leva à estabilização parcial ou total das substâncias decantadas (lamas). O efluente (líquido) da fossa séptica apresenta geralmente uma redução de 50 a 60% dos sólidos e entre 30 a 40% de matéria orgânica, expressa em CBO<sub>5</sub> (Sasse, 1998). Tilley *et al.* (2014) acrescenta que existe uma redução de 1-log na contaminação fecal pela bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*). No entanto, os mesmos autores referem ainda que pode existir uma grande variabilidade nos níveis de tratamento, devido às condições de manutenção da fossa e condições climáticas.



As fossas devem ser inspecionadas anual ou bianualmente, com o objetivo de verificar se as escumas não atingiram o dispositivo de descarga da fossa, bem como para verificar se a distância entre estes e as lamas de fundo não se reduziu demasiado.

As lamas são usualmente recolhidas por autotanque, ou limpa-fossas, (usualmente entre os 3 e os 18 m<sup>3</sup> de capacidade) e transportadas para tratamento adequado.

A espessura da camada de escumas, abaixo da superfície livre do líquido, não deve exceder 20 a 30% da altura da massa líquida na fossa.

**A espessura das lamas de fundo não deve ultrapassar 30 a 40% da altura** de líquido na fossa.

Quando as lamas atingirem esse limite devem ser retiradas, devendo deixar-se sempre uma fração no interior (cerca de 1/5 do seu volume), a fim de garantir a manutenção de um meio alcalino e bacteriologicamente favorável à transformação rápida das lamas frescas que a fossa seguidamente irá receber.

As escumas são geralmente retiradas com as lamas, embora seja conveniente deixar também uma pequena fração, como meio de absorção parcial dos gases desenvolvidos nos processos de fermentação.

Ao proceder ao esvaziamento das fossas deve-se inspecionar a integridade estrutural dos diversos componentes das fossas e o correto funcionamento dos dispositivos de infiltração/filtração do efluente.



A remoção das lamas é efetuada por bombagem, inserindo uma mangueira em ambas as câmaras da fossa, através das aberturas existentes na laje superior da fossa.

Em regra, tratando-se de fossas sépticas coletivas, recomenda-se que se utilizem fossas até 3 compartimentos. Tratando-se de fossas sépticas individuais pode optar-se por variantes de baixo custo, como a micro fossa séptica, que necessita de menos espaço para a sua implantação e o seu uso requer menos água. Este tipo de fossa séptica conta com uma única câmara, e deve dispor de um tubo de ventilação, protegido por rede de forma a impedir a entrada de insetos.

O efluente proveniente de uma fossa séptica apresenta ainda concentração em matéria orgânica elevada, pelo que deve ser previsto um tratamento complementar a jusante.

## TANQUE IMHOFF

O tanque Imhoff é um órgão de tratamento de águas residuais apropriado a pequenos aglomerados populacionais em que ocorre, simultaneamente, a operação de sedimentação primária (na câmara de sedimentação) e a digestão anaeróbia das lamas (no fundo do tanque). As lamas acumuladas no processo de decantação são conduzidas graviticamente à câmara de digestão, sendo a sua configuração tal que o movimento ascensional dos gases da digestão não perturba a ação de sedimentação. O tanque Imhoff deve, em princípio, ser precedido por tratamento preliminar (i.e. gradagem).

Trata-se de um órgão de tratamento primário que apresenta geralmente uma redução de 30 a 70% dos sólidos e entre 25 a 40% de  $CBO_5$  (Metcalf e Eddy, 2014), pelo que o efluente deve ser conduzido a um tratamento secundário, nomeadamente por leitos de macrófitas.

O tanque, de planta retangular ou circular, apresenta elevada simplicidade de operação, uma vez que não dispõe de equipamento mecânico, é de simples operação, e não requer consumo energia elétrica.

As lamas digeridas devem ser periodicamente descarregadas para leitos de secagem, preferencialmente por efeito de pressão hidrostática, sendo a operação comandada através de uma válvula.

### 3.2.2 Tratamento secundário

O tratamento secundário implica, em regra, um tratamento biológico para remoção de matéria orgânica dos efluentes. Do processo resultam sólidos (lamas) que são submetidos a uma etapa de sedimentação, para a sua separação da fase líquida.

Incluem-se como processos usuais de tratamento secundário, sistemas de biomassa suspensa, como o tratamento por lamas ativadas, nas suas diversas variantes, e sistemas de biomassa fixa, como os leitos percoladores, para além de sistemas de base natural como lagunagem ou leitos de macrófitas.



Figura 3.3 – Vista de um Tanque Imhoff

No caso das lamas ativadas, o efluente é submetido a arejamento forçado num reator, onde a biomassa se encontra em suspensão na fase líquida, originando o denominado licor misto. No caso dos leitos percoladores, a biomassa encontra-se fixa a um meio de enchimento poroso, por onde a água residual percolando do topo até à base do reator, promovendo o contacto com os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Em ambos os casos, é possível aumentar a eficiência do processo através de recirculação do efluente.

Podem ainda ser previstas combinações mais complexas, caso se pretenda a remoção e/ou reaproveitamento de nutrientes como azoto e fósforo, que implicam a criação de zonas anóxicas e aeróbias nos reatores.



Existem também os sistemas SBR (*Sequencing Batch Reactor*) que permitem realizar todas as etapas do tratamento biológico num único reator, através de quatro etapas sequenciais temporizadas, nomeadamente o enchimento, arejamento, decantação e esvaziamento.

Para tratamentos mais exigentes em termos de remoção de parâmetros como sólidos suspensos, podem-se utilizar tecnologias por membranas (MBR – *membrane bio reactor*), que combinam processos de tratamento biológicos e de microfiltração num único reator.

As lamas resultantes dos processos de tratamento biológico são submetidas a uma etapa de decantação, cujo objetivo é a recolha dos sólidos no fundo dos órgãos decantadores, e o seu envio para tratamento adicional de espessamento e/ou estabilização.

Em alternativa aos processos de tratamento tradicionais, também tem sido recorrente o uso a soluções baseadas na natureza (*Nature-based solutions*, NBS) para o tratamento secundário e de afinação de diferentes tipos de efluentes. Estas soluções envolvem a utilização planeada e deliberada de ecossistemas para melhorar a qualidade e quantidade de água, ao mesmo tempo que aumentam a resistência dos sistemas aos impactos das alterações climáticas (UN Environment-DHI, 2018).

Destacam-se como exemplos de tratamento de base natural para pequenos aglomerados os sistemas por lagunagem ou os leitos de macrófitas (também denominados por Zonas Húmidas Construídas), como detalhado nos capítulos seguintes.

### LEITOS DE MACRÓFITAS

Os leitos de macrófitas são construídos de forma a replicar os processos naturais de degradação de matéria orgânica que ocorrem em zonas húmidas.

Em comparação com outras tecnologias de tratamento de águas residuais, os leitos de macrófitas apresentam baixos requisitos de operação e manutenção (O&M) e elevada flexibilidade de adaptação face a variações súbitas de caudal e de cargas orgânicas; redução significativa de sólidos suspensos, CBO<sub>5</sub>, CQO e microrganismos patogénicos. No entanto, os leitos de macrófitas exigem elevada disponibilidade de área disponível.

Estas soluções podem tratar de forma eficaz afluentes brutos, primários, secundários ou terciários, bem como diversos tipos de águas residuais de origem urbana, agrícola e industrial.

A sua estrutura básica consiste numa parcela de terreno naturalmente impermeável (ou impermeabilizada artificialmente através do uso de geomembranas) coberta por material drenante (brita ou gravilha), material filtrante (areia grosseira) e solo natural onde plantado com macrófitas (Figura 3.4).

Os leitos de macrófitas podem apresentar escoamento superficial, ou serem de fluxo horizontal sub-superficial ou de fluxo vertical sub-superficial.

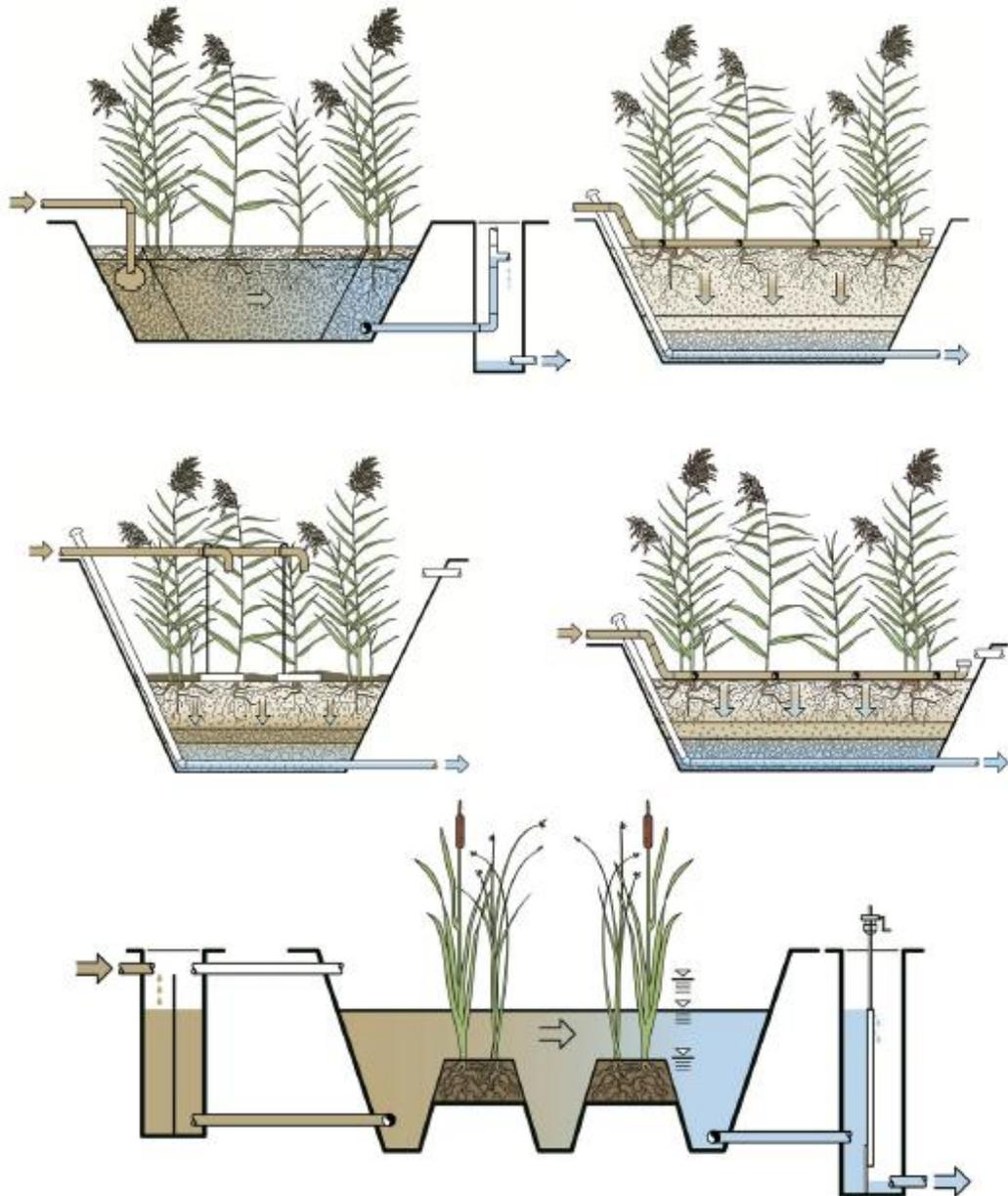


Figura 3.4 - Exemplo de tipos de leitos de macrófitas (Dotro et al., 2017)

Os objetivos do tratamento podem variar com o tipo de leito, sendo geralmente os seguintes: redução da matéria orgânica (por processos biológicos e processos de filtração), alguma redução da carga microbiológica, e em algumas configurações, a remoção de azoto e fósforo.

De forma geral, as plantas, os microrganismos e o substrato atuam em conjunto como um sistema de filtragem e purificação. A percolação da água no meio de enchimento e raízes permite a sedimentação e retenção dos sólidos maiores. Os poluentes e nutrientes presentes nas águas residuais são depois naturalmente decompostos e absorvidos pelos microrganismos presentes no biofilme que se forma junto às raízes e meio poroso. O tempo de retenção, juntamente com a radiação ultravioleta (UV) por ação solar, contribuirão para a inativação dos agentes patogénicos presentes nos efluentes.

#### ETAR COMPACTA

As ETAR compactas são equipamentos de pequenas dimensões, adequados para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados, onde se preconiza o tratamento secundário num reator, usualmente pré-fabricado.

O reator pode levar a cabo os tipos de tratamento biológico descritos anteriormente, sendo usual que ocorra o arejamento num primeiro compartimento e a decantação das lamas num segundo.

#### 3.2.3 Disposição final e reutilização de efluentes de fossas sépticas

Como meios de disposição final de efluentes de fossas sépticas, podem ser utilizados aterros filtrantes, trincheiras de infiltração e poços absorventes. Podem, ainda, recorrer-se a leitos de macrófitas ou plataformas de evapotranspiração.

No caso de o terreno apresentar características adequadas, nomeadamente em termos de adequada condutividade hidráulica saturada, pode recorrer-se à construção de filtros de areia enterrados (que consistem na junção, lado a lado, de várias trincheiras de infiltração em paralelo, em

que a camada filtrante de areia constitui um elemento único, contínuo). No caso de o terreno ser permeável à profundidade de 2 a 3 m, pode optar-se por poço de infiltração. Se o nível freático se localizar perto da superfície, a menos de 2 m, deve recorrer-se a aterros filtrantes.

Por outro lado, a reutilização das águas residuais (após tratamento adequado) permite o aproveitamento desta água antes que retorne à natureza. A reutilização da água como estratégia de combate à escassez de recursos hídricos implica ações planeadas, em que as águas residuais são tratadas e utilizadas em usos compatíveis

A gestão do risco da reutilização de efluentes é parcialmente garantida pelas operações e processos de tratamento na ETAR. No entanto, a adoção do sistema de barreiras múltiplas proporciona vantagens adicionais importantes, para a segurança de pessoas e para o ambiente.

A reutilização está preferencialmente direcionada para usos que requerem grande procura e que sejam compatíveis com a qualidade potencial dos efluentes. Nesse quadro, o maior potencial de reutilização corresponde ao sector agrícola. A rega paisagística, usos industriais, ou usos urbanos que



não implicam a utilização de água potável, como é o caso de limpezas urbanas, constituem outras alternativas válidas.

A reutilização pressupõe o tratamento terciário (desinfecção para inativação de microrganismos patogénicos), tendo em conta os requisitos específicos locais, sobretudo o tipo de rega e a natureza e utilização das culturas.

Por vezes recorre-se também à separação de águas cinzentas, ou seja, águas provenientes de lavatórios, duches e lavagem de roupa (que correspondem até 70% do consumo de água potável de uma habitação). A separação pode ter como fins a reutilização (para rega de jardins por exemplo) ou o alívio dos sistemas de tratamento das restantes águas residuais (águas negras).

#### 3.2.4 Tratamento e deposição de lamas

As lamas digeridas resultantes do processo, devem ser igualmente sujeitas a uma etapa de tratamento, que consiste usualmente na desidratação (para redução do teor de água das lamas, e, dependendo do grau de tratamento e destino pretendido (disposição final *versus* reutilização), numa etapa de estabilização (química ou biológica) adicional. Esta etapa, que pode consistir numa calagem ou compostagem, permite a inativação dos microrganismos, promovendo um seguro manuseamento e reutilização dos biosólidos, através, por exemplo, de espalhamento em solo agrícola.

É usual recorrer-se a leitos de secagem de lamas para a etapa de desidratação, que são órgãos constituídos por tanques de secção retangular constituídos por uma camada filtrante, destinados à desidratação de lamas pré-tratadas ou digeridas, como as provenientes de fossas sépticas ou tanques Imhoff. A secagem das lamas, através de evaporação e percolação, leva à redução do seu volume, facilitando o seu destino final. Este método de secagem é especialmente apropriado para pequenas comunidades onde não existem limitações relativamente à disponibilidade de terreno.

As lamas contêm, tipicamente, 0.25 a 12% de sólidos por peso, dependendo da origem. A gestão das lamas consiste na minimização da respetiva produção e perigosidade e na sua valorização. A minimização da produção de lamas passa pela redução do seu volume na fonte, através de processos de tratamento que envolvam a produção de menor quantidade de lamas.

A valorização das lamas prende-se com a sua utilização como corretivo agrícola e/ou fertilizante, com a sua utilização para produção de composto, produção de calor ou energia (digestão), com a sua reincorporação no tratamento e na incorporação em materiais de construção (pavimentação de estradas e mosaicos para revestimento de pavimentos, entre outros). Paralelamente, é possível a incineração de lamas com aproveitamento de energia.



Neste último caso, para se alcançar uma operação com altas temperaturas e controlo de emissões de poluentes (metais pesados e poluentes orgânicos como dioxinas e odores), o conteúdo em matéria seca das lamas deve ser muito elevado.

No processo de digestão anaeróbia, a matéria orgânica é convertida biologicamente, sob condições anaeróbias, numa variedade de produtos finais, tais como o metano e o dióxido de carbono. O metano é um gás combustível que se for produzido em quantidades suficientes pode ser usado para produção de energia elétrica.

A compostagem consiste num processo aeróbio de decomposição da matéria orgânica em compostos mais simples, por ação de microrganismos e sob condições ambientalmente controladas. Visto as lamas apresentarem geralmente teores baixos em matéria seca, para facilitar esta operação é usual juntar-se à lama um material de suporte.

A eliminação das lamas pode ser ainda feita recorrendo à incineração sem aproveitamento de energia e à deposição em aterro. O destino final mais comum para lamas de ETAR de origem doméstica é, geralmente, a deposição no solo ou a eliminação em aterro.

As lamas podem ser depositadas em solos agrícolas, florestais ou incultos. Fatores como a luz solar, os microrganismos do solo e a dissecação combinam-se para destruir microrganismos patogénicos e substâncias orgânicas tóxicas presentes nas lamas. Os elementos vestigiais são aprisionados na matriz do solo e os nutrientes são aproveitados pelas plantas e convertidos em biomassa.

Este processo de tratamento e destino final implica, contudo, riscos de contaminação do solo, das culturas e dos aquíferos subterrâneos. Para minimizar esses riscos deverá ser implementado um sistema geral de gestão e deposição de lamas. As etapas envolvidas neste sistema são tipicamente as seguintes:

- caracterização quantitativa e qualitativa das lamas;
- enquadramento legal;

- avaliação e comparação das opções de destino final das lamas (biosólidos);
- determinação dos parâmetros de processo: cargas poluentes, disponibilidade de área e métodos de aplicação e calendarização.



### 3.3 Árvore de decisão para soluções de saneamento de pequenos aglomerados

Existem diversas opções viáveis para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados. A escolha das soluções a adotar deve ter em conta diversos fatores simultâneos, para além do menor custo de investimento total atualizado e dos encargos de exploração associados à exploração do sistema. Usualmente os critérios de seleção da tecnologia a adotar dependem dos seguintes fatores principais:

- características da população a servir e dos efluentes a tratar;
- eficiências de depuração pretendidas;
- garantia de eficiência face à variabilidade do caudal e das cargas poluentes (especialmente importante em zonas sujeitas a populações flutuantes);
- adaptabilidade às condições locais (tais como topografia do terreno, área disponível, integração ambiental; natureza dos solos de fundação, níveis freáticos e condições climáticas, distância às fontes ou poços de abastecimento público);
- exigência de mão-de-obra qualificada;
- interesse em reutilizar a água residual tratada ou as lamas tratadas.
- custos associados a cada solução e disponibilidade económica da entidade a

cargo da sua construção e manutenção (incluindo investimento inicial, encargos de pessoal e encargos de exploração).

Para a implementação das soluções deve igualmente ter-se em conta os seguintes aspetos:

- topografia do terreno;
- condições urbanísticas da zona;
- condições de acesso do local;
- disponibilidade de energia elétrica;
- disponibilidade de abastecimento de água;
- volume e tipo de águas residuais afluentes, incluindo condição de septicidade;
- evitar a contaminação de origens de abastecimento de água públicas ou privadas e reduzir o risco de incomodar habitações vizinhas com odores.

Apresenta-se na Figura 3.5 uma possível árvore de decisão para a seleção de soluções para o tratamento de efluentes de pequenos aglomerados. Na Figura 3.6. detalha-se o processo de escolha de soluções de disposição final de efluentes resultantes de soluções de tratamento primário por fossas sépticas e tanque Imhoff.

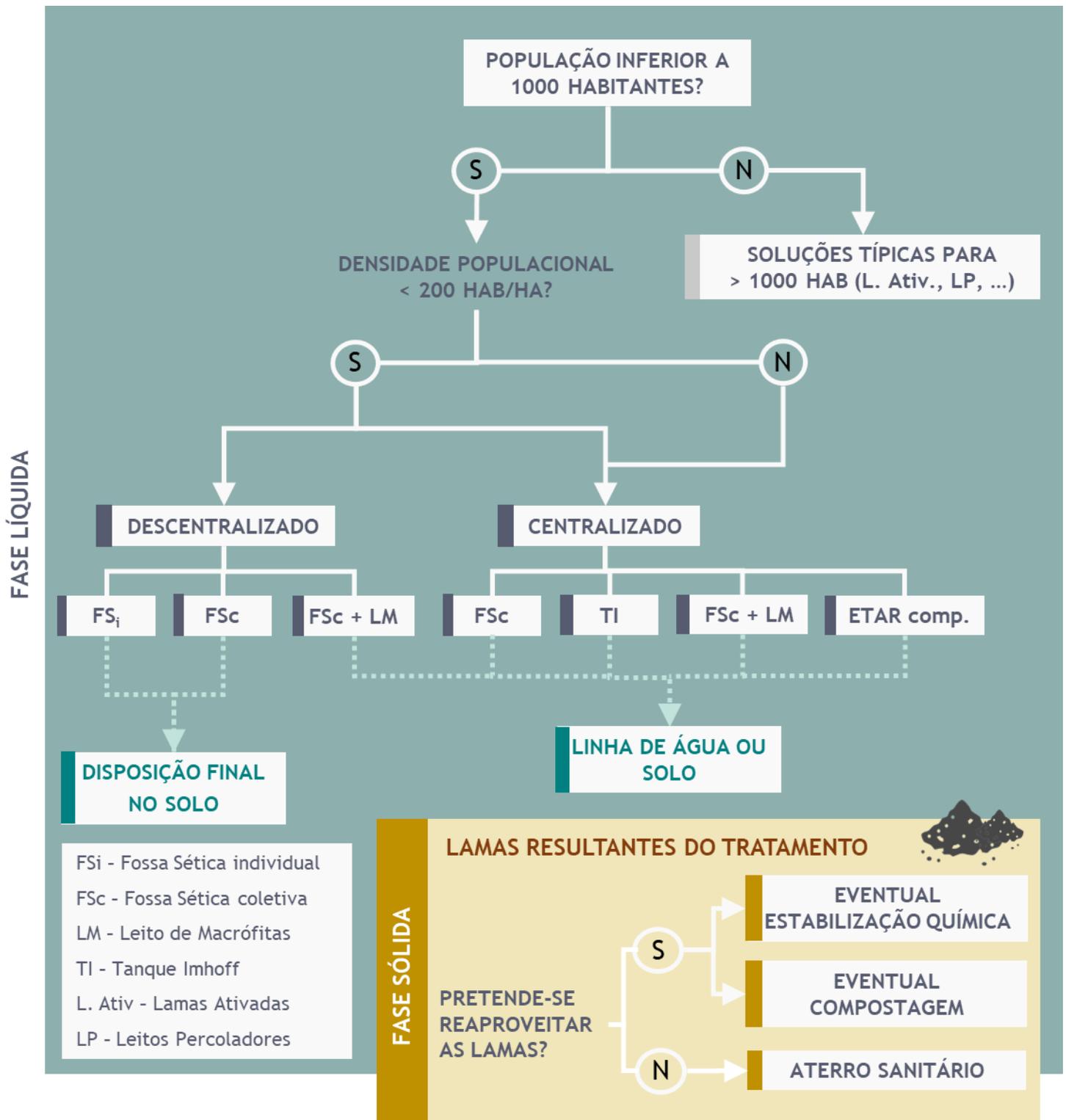


Figura 3.5 - Árvore de decisão para soluções de tratamento de pequenos aglomerados (< 1000 h.e.)

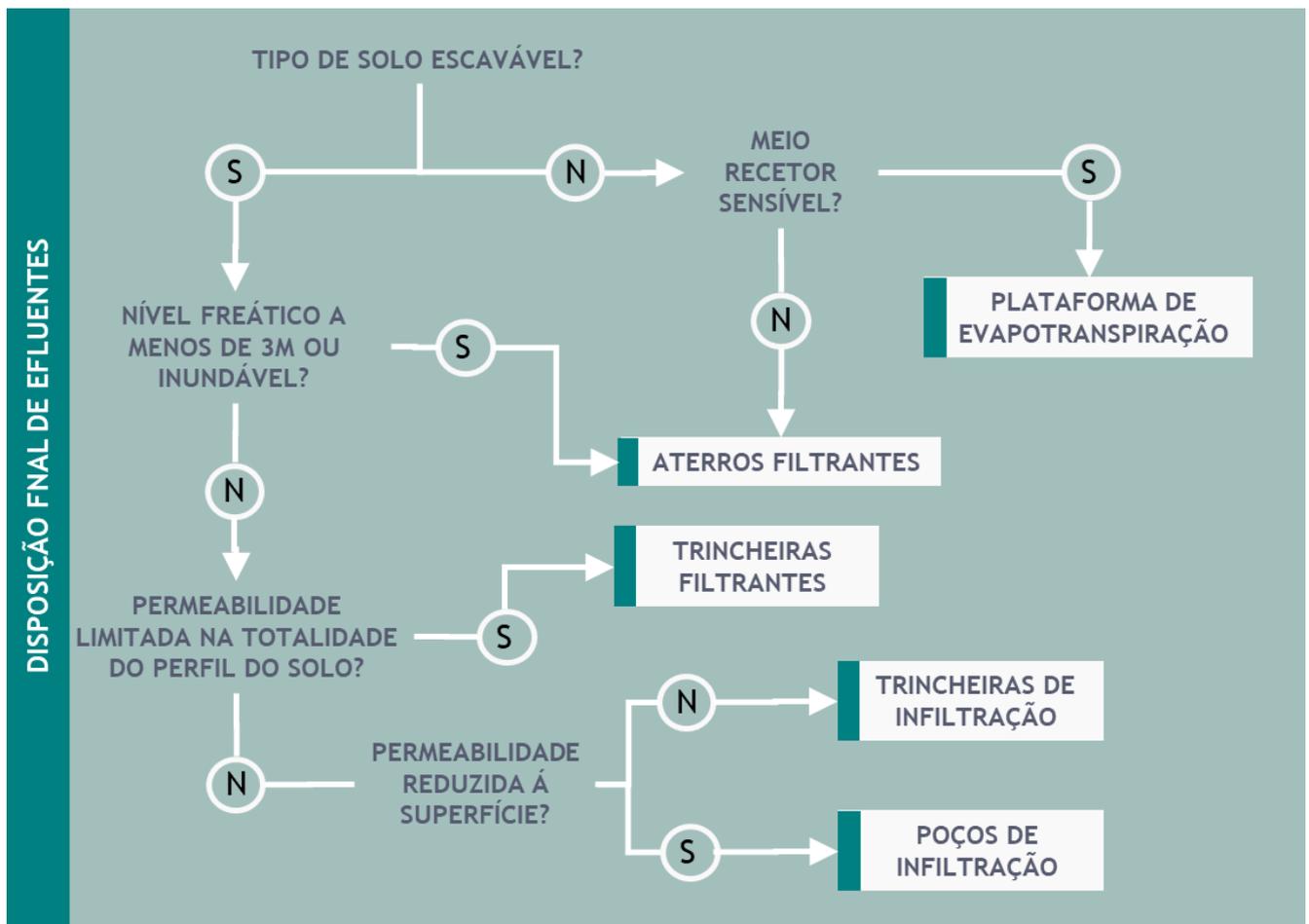


Figura 3.6 - Árvore de decisão para disposição final de efluentes de fossas sépticas e tanque Imhoff em pequenos aglomerados (< 1000 h.e.)

As soluções mais simples e recomendáveis para disposição final de efluentes no solo referem-se às trincheiras de infiltração. Contudo, caso se verifique a proximidade do nível freático à superfície (isto é, a menos de 3 m de profundidade), ou permeabilidade reduzida ao longo do perfil do solo, ter-se-á de optar por outro tipo de soluções.

Nessas situações, poder-se-á recorrer a plataformas de evapotranspiração (quando o meio recetor é sensível e se pretendem soluções de descarga zero), aterros ou trincheiras filtrantes, ou a poços de infiltração, se a permeabilidade do solo for favorável abaixo da superfície. Esta última tem sido inclusive a solução mais frequente para disposição da fração líquida de efluentes de fossas

séticas na generalidade das ilhas no Arquipélago dos Açores.

### 3.4 Princípios de gestão dos sistemas

Para o adequado funcionamento dos sistemas de saneamento de pequenos aglomerados é fulcral a adoção, por partes das entidades gestoras, de **práticas de gestão e instrumentos de regulamentação adequados**. Estes instrumentos acabam muitas vezes por se materializar em normas prescritivas, baseadas em relações empíricas e no desempenho hidráulico, que não têm em conta as características específicas locais, e por conseguinte, não garantem necessariamente a proteção dos recursos hídricos existentes (EPA, 2002).

Considera-se essencial a adoção de uma abordagem abrangente que dê prioridade ao desempenho do sistema de tratamento, ao transporte de poluentes e aos impactes ambientais e de saúde pública daí decorrentes. Os instrumentos de regulamentação, como sejam normas e requisitos para obtenção de licenciamento, deverão considerar as condições e capacidades específicas do local, em vez de pressuporem a existência futura de sistemas centralizados de tratamento de águas residuais, de forma a contribuir para a salvaguarda da saúde pública e dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

A adoção de uma **abordagem baseada no desempenho e risco** permite estabelecer intervalos de performance para diferentes tecnologias de tratamento em várias condições, nomeadamente climatéricas, de tipo de solo, de carga de águas residuais e sensibilidade do meio recetor. Esta abordagem deve permitir igualmente estabelecer **processos mais detalhados de avaliação do local** para selecionar e dimensionar as tecnologias de sistema mais adequadas, com base em critérios de caudais afluentes e cargas poluentes expectáveis, mas também de população flutuante e residente a servir, restrições de espaço, distância e sensibilidade dos meios hídricos envolventes, entre outros que se considerem adequados.

Devem igualmente ser desenvolvidos programas de gestão que permitam a supervisão das atividades de operação e manutenção de rotina, incluindo a adequada gestão de resíduos sólidos (e lamas), implementando mecanismos que permitam detetar e responder prontamente a alterações nas cargas de águas residuais, prevenindo a sobrecarga do sistema e falhas subsequentes.

Estes esforços na gestão dos sistemas de saneamento devem também ser integrados com instrumentos e esforços mais amplos de proteção de bacias hidrográficas, que considerem toda a bacia de drenagem, de forma a melhorar o planeamento do uso do solo, os processos de desenvolvimento e a gestão ambiental global.

Outro aspeto importante será o estabelecimento de programas robustos de educação e formação (incluindo ao público) para garantir que os proprietários e operadores de sistemas individuais estão: a) adequadamente alertados para a importância da manutenção regular e para os riscos potenciais associados à negligência destas responsabilidades, e b) para garantir a adesão aos regulamentos locais de gestão de sistemas de tratamento.

Os passos do processo para o desenvolvimento de um programa de gestão de um sistema descentralizado de saneamento para pequenos aglomerados podem ser sucintamente descritos como (EPA, 2005):

- 1 – Definição do âmbito, identificação de sistemas existentes, potenciais problemas e organizações envolvidas no planeamento, licenciamento e operação dos sistemas.
- 2 – Reunião das partes interessadas para investigar o desempenho do sistema e definir objetivos.
- 3 – Análise da informação local existente para avaliação de riscos atuais e futuros, tendo em conta tendências de crescimento e criação de eventuais novas zonas a servir.
- 4 – Melhorar ou desenvolver os programas de gestão, em coordenação com todas as partes interessadas (planeamento do território, gestão de

recursos hídricos, operadores, entre outros), tendo em conta os recursos humanos e financeiros disponíveis.

5 – Implementação dos elementos selecionados do programa de gestão, monitorização e adaptação conforme necessário.

Quadro 3.1 – Elementos de um programa de gestão de sistemas de saneamento descentralizados (adaptado de EPA, 2005)



# 4 CRITÉRIOS E EXEMPLOS DE DIMENSIONAMENTO

## 4.1 Estimativa de caudais

Para o dimensionamento dos sistemas de tratamento importa efetuar a estimativa dos caudais médios afluentes aos sistemas, que podem ser determinados através da expressão:

$$Q_m = \text{População} \times \text{Capitação} \times f_{afi}$$

Em que:

$Q_m$  – Caudal médio de águas residuais (l/s)

Capitação – Produção de águas residuais por habitante (l/hab.d)

$f_{afi}$  – fator de afluência á rede (-)

A estimativa da capitação de águas residuais de um aglomerado populacional deve ter em conta o tipo de usos, número de instalação sanitárias, eletrodomésticos, regas de jardins, entre outros, que possam influenciar o consumo diário de água. Na ausência de dados, é comum usar-se capitações entre 80 e 150 l/hab.dia.

Para instituições e estabelecimentos de ocupação parcial, a população de cálculo é determinada pelo equivalente populacional (ou habitante equivalente), que se pode considerar conforme o sugerido por Morais (1977) exposto no Quadro 4.1.

Uma vez que os caudais apresentação variações ao longo do dia, para além dos caudais médios diários, deve ser considerado também o fator de ponta instantâneo ( $f_p$ ), para obtenção dos caudais de ponta:

$$f_p = 1,5 + \frac{60}{\sqrt{\text{População ano } n}}$$

Quadro 4.1 – Equivalentes Populacionais

Designação	Pop. Equivalente
Escolas, colégios, restaurantes	3
Parques de campismo	2
Hotéis, pensões, quartéis	1 (por cama)
Oficinas (excluídas águas residuais industriais)	2
Escritórios e estabelecimentos comerciais sem refeitório	3
Salas de agremiações e clubes	7-10
Cinemas, teatros e parques desportivos sem restaurante	30

As características de ocupação da habitação servida e a quantidade e as características dos aparelhos sanitários existentes e estabelecem a variabilidade de caudais associadas às descargas. Em habitações isoladas, o caudal de ponta instantâneo situa-se normalmente entre 0,3 e 0,6 l/s (EPA, 1991).

O regime de caudais associado é caracterizado pela existência de uma grande coincidência temporal nas descargas, com períodos de ponta bem definidos e longos períodos de caudal nulo.

O caudal de ponta obtém-se multiplicando o fator de ponta pelo caudal médio calculado. Aos caudais de ponta assim calculados, adicionam-se os caudais de infiltração, provenientes do aquífero. Não dispondo de dados locais ou de informações que permita estimar os caudais de infiltração, o valor é arbitrado: igual ao caudal médio anual no caso de

$D \leq 300$  mm; 50 a 100% do caudal médio, para  $D > 300$  mm.

#### 4.2 Drenagem e estruturas de distribuição de caudal

O dimensionamento hidráulico-sanitário dos coletores gravíticos efetua-se tendo presente os critérios dispostos no Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, que aprovou o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais:

- Diâmetro nominal mínimo: 200 mm
- Altura máxima da lâmina líquida:
  - $D \leq 500 \Rightarrow h \leq 0,5 D$
  - $D > 500 \Rightarrow h \leq 0,7 D$

sendo  $D$  o diâmetro da conduta expresso em milímetros.

- Inclinações: inclinação mínima de 0,3%; contudo, é dada preferência a inclinações mínimas obtidas por  $1/D$ ; a inclinação máxima sem dispositivos de ancoragem será de 15 %.
- Velocidades de escoamento: velocidade máxima de 3 m/s; velocidade mínima de 0,6 m/s (caudal médio no início de exploração). Não se atingindo as velocidades mínimas, nomeadamente em trechos de cabeceira, a condição de autolimpeza é assegurada tecnicamente desde que se verifique a velocidade superior a 0,6 m/s, em condição de secção cheia (ou meia secção).
- Profundidade mínima considerada para assentamento das tubagens, medida entre o seu extradorso e o nível do terreno: 1,00 m.

O escoamento gravítico das águas residuais em superfície livre por ser estimado pela fórmula empírica Gauckler-Manning-Strickler:

$$Q = K_s \times S \times R^{2/3} \times i^{1/2}$$

Em que:

$Q$	-	caudal escoado ( $m^3/s$ );
$K_s$	-	coeficiente de <i>Manning-Strickler</i> ( $m^{1/3}/s$ );
$S$	-	secção transversal ( $m^2$ );
$R$	-	raio hidráulico (m);
$i$	-	inclinação do colector (m/m).

Nos troços em que não sejam asseguradas velocidades mínimas, devem ser garantidos declives que viabilizem tais velocidades, para caudais de secção cheia.

Devem ser instaladas câmaras de visita sempre que se verifiquem alterações nas inclinações dos troços, mudanças de direção e de diâmetro dos coletores, nas junções entre diferentes coletores e sempre que a distância máxima regulamentar (60 m) assim o exija.

As câmaras de visita com uma profundidade inferior a 5.0 m, devem ter, em geral, corpo constituído por anéis de betão pré-fabricados. Recomenda-se que a laje de base das câmaras de visita seja em betão armado pré-fabricado com uma espessura de 0.20 m. De acordo com a profundidade da caixa, o diâmetro interior do seu corpo deve ser de 1.00 m (para  $h \leq 2.50$  m) ou 1.25 m (para  $h > 2.50$  m). As câmaras de visita em zonas de nível freático elevado devem ser protegidas com betão.

Sempre que a diferença das cotas de soleira dos coletores, à entrada e à saída das câmaras de visita, seja inferior a 0.50 m a transição faz-se, de forma suave, no interior da caixa através da conformação da soleira. Caso contrário, deve ser executada uma queda guiada no exterior da câmara de visita. A cobertura das câmaras de visita deve ser efetuada com cones pré-fabricados de betão assimétricos (sempre que a profundidade for superior a 1.00 m) ou com coberturas planas (nos restantes casos). Sempre que as câmaras de visita sejam construídas em terrenos agrícolas, as suas coberturas devem ficar salientes, em relação ao terreno, cerca de 0.50 m.

### 4.3 Sistemas de drenagem de pequenos aglomerados

O artigo 114º do Decreto Regulamentar nº 23/95, de 23 de agosto, menciona a possibilidade de adoção de sistemas simplificados de drenagem pública, tais como fossas sépticas seguidas de sistemas de infiltração ou redes de pequeno diâmetro com tanques interceptores de lamas, em pequenos aglomerados populacionais, ou sistema condominiais.

No contexto da drenagem gravítica, têm lugar opções alternativas à convencional, nomeadamente

- sistemas de esgotos decantados
- sistemas condominiais.

Os sistemas de esgotos decantados são sistemas gravíticos de coletores de pequenos diâmetros (usualmente entre 80 e 100 mm), instalados a pouca profundidade, e que permitem receber efluente doméstico de várias habitações, após decantação em fossas ou tanques interceptores, pelo que as exigências de velocidade e auto-limpeza nas condutas são bastante menores. Podem apresentar trechos ascendentes e descendentes, e um número de câmaras de visita bastante reduzido e a ETAR que recebe esses efluentes pode dispensar o tratamento primário.

Para além do menor diâmetro e profundidade, o espaçamento entre câmaras de visita é maior do que nos sistemas convencionais, pelo que o investimento inicial pode ser comparativamente muito menor, sobretudo em terrenos de perfil ondulado e solo rochoso. Os sistemas de esgotos decantados não são comuns em Portugal, mas são comuns em Países como Estados Unidos da América e Austrália.

O sistema condominial é um sistema simplificado usualmente constituído por menores diâmetros (125 ou 150 mm), e óculos de limpeza em vez de câmaras de visita, mas recebe efluentes brutos, pelo que exige cuidados redobrados de exploração. Existem vários sistemas deste tipo no Brasil



Figura 4.1 – Sistema condominial em Brasília (Melo, 2005)

## 4.4 Unidades de tratamento

### 4.4.1 Fossas Sépticas

#### ELEMENTOS ESSENCIAIS DE UMA FOSSA SÉTICA

A fossa séptica é constituída por 7 elementos principais:

- Tubagem de entrada
- Tubagem de saída
- Abertura de inspeção
- Compartimento(s) de retenção de efluente
- Defletores
- Tubagem de ventilação
- Órgão de infiltração ou tratamento a jusante.

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das fossas sépticas consiste, fundamentalmente, na determinação da capacidade e dos diâmetros da tubagem de entrada e de descarga de águas residuais. A capacidade mínima de uma fossa deverá permitir que o afluente permaneça, para todas as condições de afluência, durante um intervalo de tempo suficiente para que se opere a decantação dos sólidos sedimentáveis, tendo em conta o espaço necessário para o armazenamento de lamas e escumas.

De acordo com Bartolomeu (1996) recomendam-se tempos de retenção hidráulica (TRH) de três dias, para populações até 60 habitantes, e de dois dias, para aglomerados populacionais de dimensão superior. No mínimo deve-se considerar um TRH de 24h para o caudal de ponta (Shrestha, R. 2020).

A capacidade mínima da fossa depende da capitação de águas residuais e da capitação de lamas digeridas e de lamas frescas, que se pode considerar que assumem, respetivamente, valores de 0,11 e 0,45 l/(hab.dia). Assim, o volume útil de uma fossa séptica é dado pelo somatório dos seguintes volumes parciais: volume da lama digerida, da lama em digestão e da massa líquida.

Considerando que  $t_r$  representa o tempo de retenção do afluente nas fossas sépticas e  $t_l$  e  $t_d$  representam, respetivamente, o tempo entre limpezas e o tempo de digestão das lamas, resulta:

#### Volume ocupado pela massa líquida

$$V_{AR} = Pop \times Cap \times f_{af} \times t_r$$

#### Volume ocupado pelas lamas digeridas

$$V_{Lm} = Pop \times Cap_{Ld} \times (t_l - t_d)$$

#### Volume ocupado pelas lamas em digestão

$$V_{Ld} = Pop \times \frac{Cap_{lf} + Cap_{ld}}{2} \times t_d$$

As dimensões da fossa séptica (comprimento, largura e altura de água) devem respeitar determinadas proporções. Assim, a altura de água dentro da fossa deverá ser de cerca de 1/3 do comprimento da fossa, não sendo inferior a 1.20 m nem superior a 2.25 m.

Recomenda-se que a relação do comprimento e largura de fossa seja de 2/1 a 3/1, embora se possam atingir valores até 5/1.

Os passos para o dimensionamento de uma fossa séptica (Figura 4.2) passam assim por:

- 1) Estimar a população a servir e capitação de águas residuais, lamas frescas e lamas digeridas;
- 2) determinação do volume útil necessário para a massa líquida ( $V_{AR}$ );
- 3) determinação do volume ocupado pelas lamas digeridas e em digestão ( $V_{Lm}$  e  $V_{Ld}$ );
- 4) Determinação do volume total da fossa, pela soma dos volumes anteriormente determinados;
- 5) Definição das dimensões da fossa. No caso de fossas com 3 compartimentos, o comprimento do compartimento maior deve ser o dobro do comprimento dos compartimentos menores.

Os principais critérios de dimensionamento de fossa séptica apresentam-se no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Critérios de dimensionamento de fossas sépticas (adaptado de AIAS, 2017 e Bartolomeu, 1996)

Grandeza	Unidade	Valor
Capitação de lamas frescas, $Cap_{if}$	l/(hab.dia)	0.45
Capitação de lamas digeridas, $Cap_{ld}$	l/(hab.dia)	0.11
Tempo entre limpezas, $t_l$	Dia	> 365 (ideal: 730)
Tempo de digestão das lamas, $t_d$	dia	60
Tempo de retenção do afluente	dia	1-3
Número de compartimentos	-	1-3

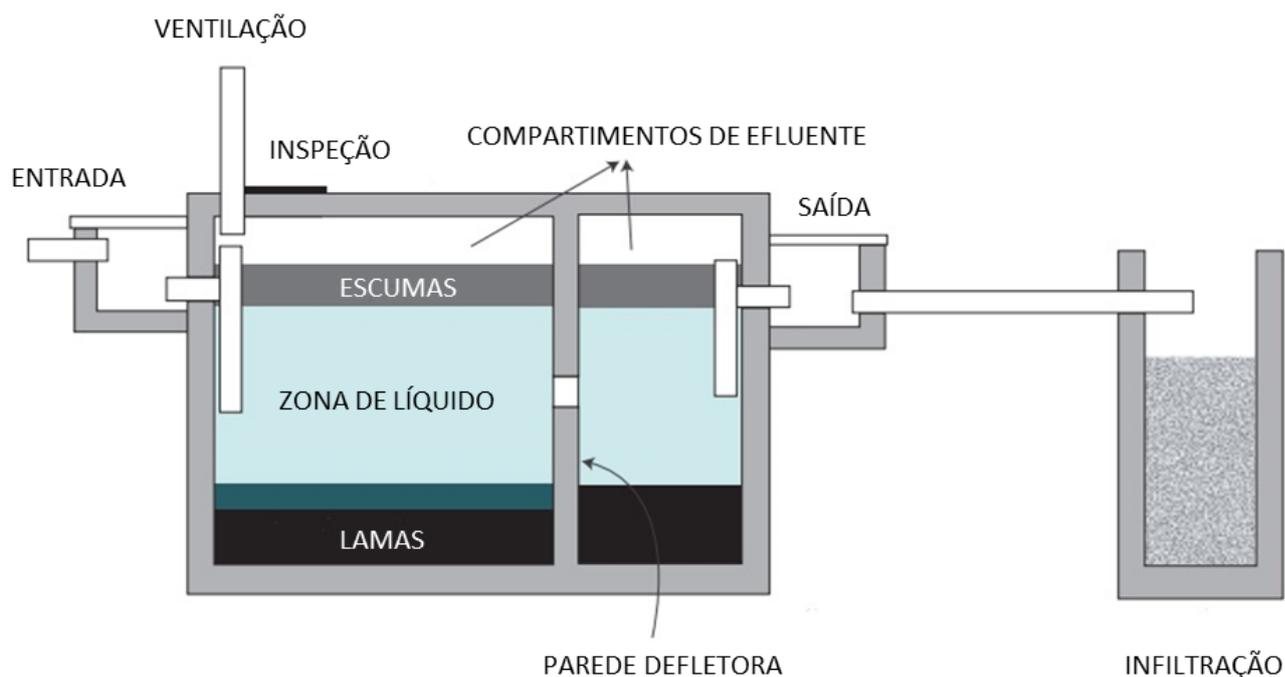


Figura 4.2 – Esquema de fossa séptica de 2 compartimentos (adaptado de Shrestha, R. 2020)

#### 4.4.2 Tanque Imhoff

##### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento do tanque Imhoff (Figura 4.3) consiste na determinação da área superficial, do volume útil da câmara de decantação e do volume útil da câmara de digestão.

A câmara de decantação deve ser dimensionada para o caudal de ponta horário garantindo, nessas condições, um tempo de retenção hidráulica de 1.5 a 2.0 horas, enquanto que a respetiva área superficial deve ser tal que a carga hidráulica esteja entre 1.2 e 2.0 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>.h).

A relação entre as dimensões comprimento (ou diâmetro)/altura e comprimento (ou diâmetro)/largura deve ser, respetivamente, de cerca de 10 e de cerca de 2. Assim, o diâmetro da câmara de digestão pode ser determinado pela expressão:

$$D = \frac{C}{\cos \alpha}$$

Em que:

- D - diâmetro da câmara de digestão (m);
- C - comprimento do decantador (m);
- $\alpha$  - ângulo, em planta, entre o eixo do decantador paralelo ao lado maior e o segmento de reta que une o centro do decantador com a intersecção, ao nível da superfície do líquido, da parede circular do digestor com a parede do decantador ( $^{\circ}$ ).

O volume da câmara de digestão deve garantir um tempo de retenção mínimo de 90 dias relativamente à afluência de lamas, que, no caso da sequência de tratamento adotada ser “tanque Imhoff e leito de macrófitas”, pode ser avaliada considerando 0.83 l/(hab.dia).

A sequência de passos de dimensionamento considera-se semelhante à das fossas sépticas.

No Quadro 4.3 apresentam-se os critérios de dimensionamento de tanques Imhoff.

Quadro 4.3 - Critérios de dimensionamento de tanque Imhoff (adaptado de Bartolomeu, 1996)

Grandeza	Unidade	Valor
<b>Unidade de decantação</b>		
Tempo de retenção, TRH (Para Qp)	h	1.5 – 2.0
Carga hidráulica (Para Qp)	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	1.2 – 2.0
Relação diâmetro/altura	-	10
Relação comprimento/largura	-	2
Inclinação do fundo	$^{\circ}$	55
Bordo livre	m	0.50
<b>Unidade de digestão</b>		
Tempo de retenção, TRH (Para Qp)	dia	90
Capitação de lamas	l/(hab.dia)	0.83
Inclinação do fundo	$^{\circ}$	30
Altura da zona neutra	m	0.50

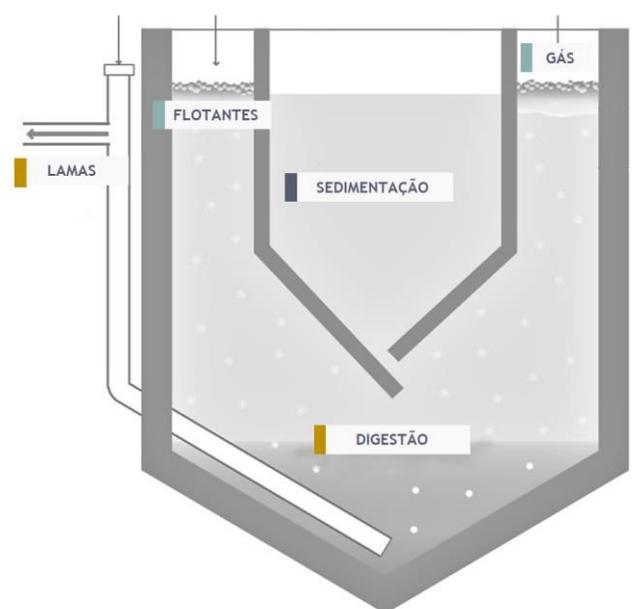


Figura 4.3 – Representação esquemática de um tanque Imhoff

#### 4.4.3 Leitos de macrófitas

Os leitos de macrófitas exigem usualmente a montante, unidades de tratamento primário, e requerem áreas relativamente elevadas, mas pequenas profundidades, com fundos e paredes laterais geralmente impermeabilizados (para evitar a contaminação por aquíferos). Consistem em camadas preenchidas com meios de enchimento com características específicas, e vegetação, que asseguram as seguintes funções principais:

- Drenagem adequada, permitindo a percolação das águas residuais a tratar, que flui através dos leitos.
- Boas condições para a fixação e desenvolvimento dos microrganismos.

- Boas condições para a fixação e alimentação das plantas macrófitas, que contribuem para a eliminação de nutrientes por assimilação e incorporação na matéria vegetal, oxigenam o meio e ajudam a fixar os microrganismos com as suas raízes.

Representam-se no Quadro 4.4 os principais mecanismos de remoção de poluição que ocorrem em leitos de macrófitas.

Em termos de área necessária para a sua implantação, esta pode variar entre 1.2 a 10 m<sup>2</sup>/habitante, dependendo da configuração selecionada.

Quadro 4.4 – Principais mecanismos de tratamento em leitos de macrófitas (adaptado de Dotro *et al.*, 2017; Kadlec e Wallace, 2009)

Parâmetro	Principal mecanismo de remoção
Sólidos suspensos	Sedimentação e filtração
Matéria orgânica	Matéria orgânica particulada removida por sedimentação e filtração; matéria orgânica dissolvida removida por processos aeróbios e anaeróbios de degradação biológica
Azoto	Amonificação, nitrificação e desnitrificação, assimilação radicular e exportação por recolha de biomassa (corte das plantas) e decomposição
Fósforo	Adsorção e precipitação pelo meio filtrante, bem como assimilação radicular e exportação por recolha de biomassa (corte das plantas)
Microrganismos patogénicos	Sedimentação, filtração, radiação UV, decaimento natural e predação (por protozoários e metazoários)

#### LEITOS DE FLUXO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL

Nesta configuração, o efluente esco horizontalmente através de um filtro de areia e/ou gravilha, mantendo-se o nível de água abaixo da superfície do leito. Esta configuração resulta numa saturação do meio, que por esse motivo, proporciona condições para ocorrerem principalmente processos de degradação anaeróbia. Estes leitos são utilizados para tratamento secundário ou terciário de efluentes, sendo, no entanto, aconselhável um tratamento

primário a montante, como fossas sépticas ou tanque Imhoff, para remoção eficaz de partículas sólidas de maiores dimensões que possam colmatar o meio filtrante. O tratamento é efetuado por plantas macrófitas emergentes.

Trata-se da configuração mais comum de leitos de macrófitas, existindo várias unidades em operação em Portugal.

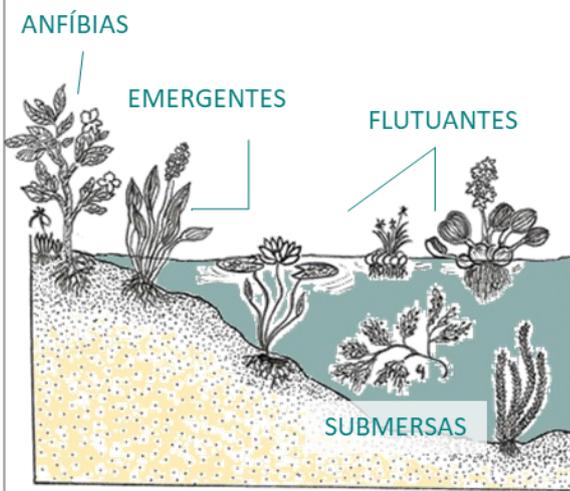
### LEITOS DE FLUXO SUB-SUPERFICIAL VERTICAL

O efluente é alimentado de forma intermitente para a superfície do leito e percola verticalmente através do filtro. Entre duas cargas, o ar reentra nos poros e areja o meio filtrante, onde ocorrem principalmente processos de degradação aeróbica. Nesta configuração é igualmente necessário

preconizar uma etapa de tratamento primário a montante para remoção de partículas sólidas. Utilizam-se igualmente macrófitas emergentes nos leitos de fluxo vertical.

Trata-se de uma configuração existente em Portugal, mas em número muito limitado.

### PLANTAS MACRÓFITAS

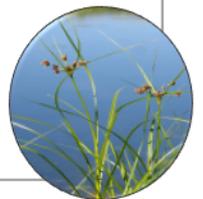


Os principais grupos de plantas macrófitas incluem:

- Anfíbias: plantas que vivem dentro e fora de água.
- Emergentes: plantas enraizadas em meio físico, no fundo, mas que se encontram parcialmente acima da superfície de água.
- Flutuantes (fixas ou livres)
- Submersas (fixas ou livres)
- Epífitas: que se instalam sobre outras plantas.

No tratamento de efluentes é comum o uso de macrófitas emergentes como a *Typha* e *Phragmites*.

Trabalhos recentes com plantas autóctones do Arquipélago dos Açores, *Bolboschoenus maritimus* L. Palla, demonstraram o potencial da sua utilização em leitos de macrófitas para tratamento de efluentes (Quadros *et al.*, 2017).

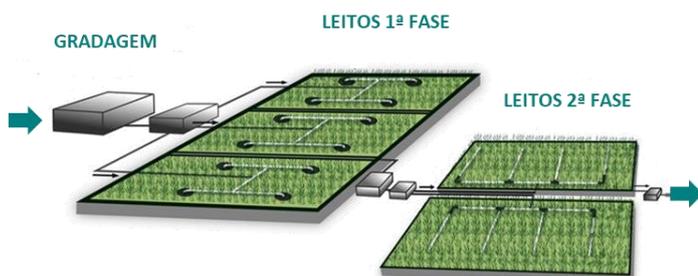


### LEITOS DE FLUXO SUB-SUPERFICIAL VERTICAL EM SISTEMA FRANCÊS

Tratam-se de sistemas de alimentação vertical, concebidos para tratar efluentes brutos submetidos apenas a gradagem, que dispensam o tratamento primário de montante. Neste caso, consideram-se duas etapas de leitos, a funcionar em série e em paralelo, alimentados igualmente de forma intermitente.

Esta configuração permite o tratamento integrado de lamas e efluentes num único sistema.

Que se saiba, não existe nenhum exemplo em operação em Portugal.



Adaptado de Dotro *et al.*, 2017

### LEITOS DE SUPERFÍCIE LIVRE

Estes leitos são os que se aproximam mais em aparência às zonas húmidas naturais, uma vez que o nível de água se encontra acima da superfície do leito filtrante. Este sistema requer bastante disponibilidade de área, mas permite o tratamento de efluentes de alta carga (Dotro *et al.*, 2017). Neste caso, podem ser utilizados diversos tipos de plantas macrófitas, como plantas emergentes, submersas e flutuantes. São usualmente usados para o tratamento terciário ou de afinação de efluentes. A escolha do tipo de plantas, que depende da disponibilidade de plantas autóctones, pode influenciar a eficiência de remoção dos poluentes,

sobretudo nutrientes (azoto e fósforo) e metais pesados (Vymazal, 2013).

Existe um número muito limitado deste tipo de sistemas em Portugal.

### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento dos leitos de macrófitas consiste, fundamentalmente, na determinação da área necessária e da altura dos próprios leitos. Para pequenos aglomerados, é sobretudo relevante o dimensionamento para tratamento secundário (remoção de matéria orgânica e sólidos).

Os critérios de dimensionamento usualmente considerados nos **leitos de macrófitas com escoamento sub-superficial horizontal**, apresentados no Quadro 4.5, traduzem-se nos seguintes passos:

1. adoção de um tempo de retenção hidráulica (TRH) de dois dias.
2. assegurar uma concentração de CBO<sub>5</sub> no efluente final entre 25 e 60 mg.l<sup>-1</sup>, em função das características e utilização do meio recetor. Pode assumir-se que a eficiência de remoção da CBO<sub>5</sub> nos órgãos a montante é de 40 a 50% no caso de fossa séptica e 30% no caso de tanque Imhoff.
3. determinação da área necessária para os leitos. Esta pode ser determinada através da aplicação das seguintes expressões, em função do caudal, do tempo de retenção, das características do material de enchimento e da profundidade e exigências em termos de qualidade do efluente (Equação de Kickuth, UN-Habitat, 2008):

$$A_{min} > Q \times \frac{\ln(CBO_a/CBO_e)}{K_t \times e \times n}$$

$$TRH = \frac{C \times L \times n \times e}{Q}$$

Em que:

A<sub>min</sub> – área superficial mínima necessária (m<sup>2</sup>);

Q - caudal médio (m<sup>3</sup>/dia);

CBO<sub>a</sub> - concentração da CBO<sub>5</sub> no afluente (mg/l);

CBO<sub>e</sub> - concentração da CBO<sub>5</sub> no efluente (mg/l);

K<sub>t</sub> - constante (depende da temperatura do efluente) (K<sub>T</sub>=1.104 x 1.06<sup>(T-20)</sup>) (-);

n - porosidade média do leito (-);

e - altura do leito (m);

C – comprimento do leito (m);

L – largura do leito (m).

No Quadro 4.5 são também indicados alguns dos valores mais correntes relativos às características dos leitos e do material de enchimento.

Quadro 4.5 - Critérios de dimensionamento dos leitos de macrófitas

Grandeza	Unidade	Valor
CBO <sub>5</sub> efluente	mg/l	25 a 60
Temperatura média de funcionamento	°C	10 a 18
Altura do leito	m	0.65 a 0.95
Declive do leito (dH/dC)	m/m	0.005 a 0.015
Relação comprimento/largura	-	2:1
TRH	Dia	> 2
Condutividade do leito, K	m/s	1x10 <sup>-3</sup> a 3x10 <sup>-3</sup>

Outro critério recentemente utilizado para dimensionamento dos leitos de alimentação horizontal baseia-se na abordagem P-k-C\* (Dotro *et al.*, 2017), em que a área do leito pode ser obtida através da equação:

$$A = \frac{PQ_i}{k_A} \left( \left( \frac{C_i - C^*}{C_0 - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right)$$

Em que,

$C_0$  – concentração no efluente (mg/l)

$C_i$  – concentração no afluente (mg/l)

$C^*$  - concentração *background* (mg/l)

$k_A$  - coeficiente de taxa de primeira ordem (m/d)

$P$  - número aparente de tanques em série (-)

$Q_i$  – caudal afluente ( $m^3/d$ )

O parâmetro  $k_A$  encontra-se representado no Quadro 4.6 para os diversos parâmetros que sejam determinantes para a determinação da área superficial dos leitos.

Quadro 4.6 - Coeficiente de taxa de primeira ordem (adaptado de Kadlec e Wallace, 2009)

Parâmetro	Valor $k_A$ (m/ano)
$CBO_5$	25
Azoto total	8.4
Amónia	11.4
$NO_x$	41.8
Coliformes termotolerantes	103

A área transversal do leito horizontal ( $A_t$ ) é baseada na Lei de Darcy, e pode ser obtida através da expressão:

$$A_t = \frac{Q}{K \times (dH/dC)}$$

Onde,

$Q$  – caudal afluente ( $m^3/s$ )

$K$  – condutividade hidráulica do leito (m/s)

$dH/dC$  – declive do fundo do leito (m/m)

Caso a largura estimada para um leito exceda os 15m, recomenda-se a sua divisão em várias células, para evitar curtos-circuitos hidráulicos no seu interior.

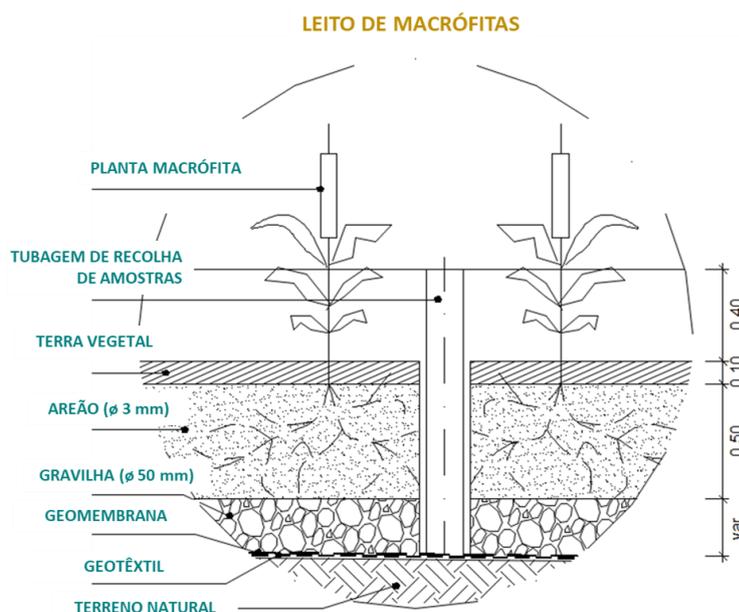
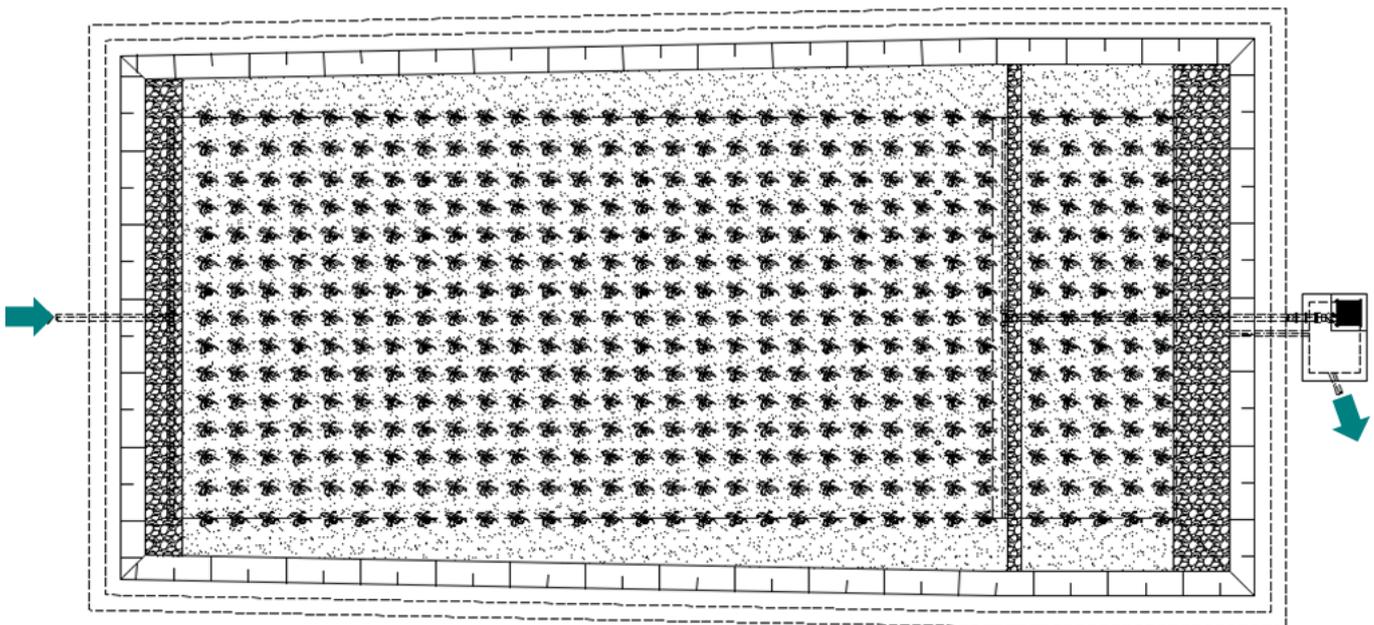


Figura 4.4 – Pormenor de secção tipo de leito de macrófitas

### LEITO DE MACRÓFITAS DE ESCOAMENTO SUB-SUPERFICIAL HORIZONTAL



### SECÇÃO DE LEITO DE MACRÓFITAS

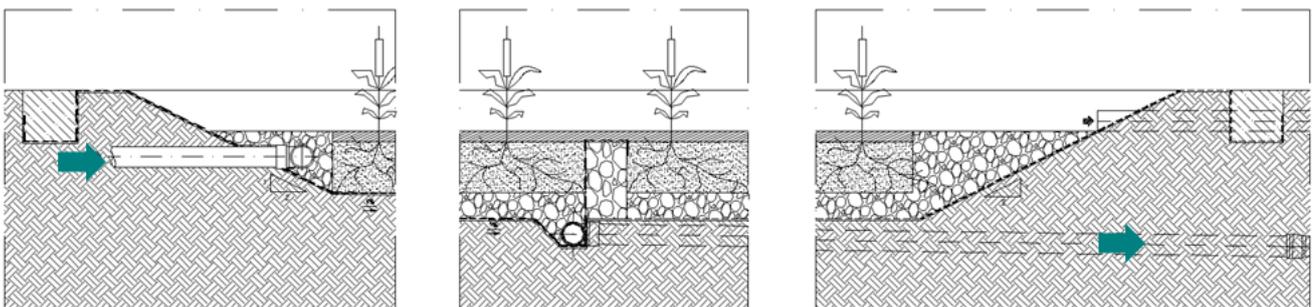


Figura 4.5 – Ilustração de implantação e secção de um leito de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal

#### 4.4.4 ETAR compactas

As ETAR compactas (ou mini-ETAR) servem para tratamento de efluentes de pequenos aglomerados e consistem em unidades modulares, que podem preconizar diversos tipos de tratamento, desde o nível primário ao terciário.

Quase todas as tecnologias de tratamento de efluente usualmente empregues a larga escala, podem ser também aplicadas a ETAR compacta. A seleção do tipo de tratamento deve ter em conta considerações económicas e os benefícios de cada tipo de tratamento.

Este tipo de módulos constitui soluções patenteadas para tratamento de águas residuais, normalmente pré-fabricadas, sendo, em regra, constituídas por unidades modulares e estanques. Os processos de tratamento concentram-se, geralmente, no mesmo módulo e encontram-se disponíveis para várias gamas de valores de população a servir, normalmente, pequenos e médios aglomerados.

Os tipos de tratamento mais utilizados em módulos compactos são usualmente o de lamas ativadas, (geralmente na variante de arejamento prolongado) e SBR.

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

##### OBRA DE ENTRADA

A montante de qualquer unidade de tratamento compacta, é recomendável a previsão de uma unidade de tratamento preliminar. A obra de entrada tem como principal objetivo proporcionar um tratamento preliminar às águas residuais afluentes, de forma a assegurar um melhor funcionamento dos órgãos de tratamento a jusante, evitando o desgaste precoce de determinados tipos de equipamentos como consequência dos efeitos nocivos de alguns constituintes das águas residuais. Em geral, a obra de entrada é composta pelas seguintes operações dispostas em série: gradagem manual ou mecânica para remoção de detritos de maiores dimensões, eventual remoção de areias e de gorduras e medição de caudal. É usual prever-se

uma grade mecânica no canal principal, e uma grade manual no canal de bypass à obra de entrada.

Apresentam-se no Quadro 4.7 os critérios de dimensionamento da gradagem.

Quadro 4.7 – Critérios de dimensionamento da gradagem (adaptado de Metcalf & Eddy, 2014)

Grandeza	Unidade	Grade mecânica	Grade manual
Largura das barras	mm	5 a 15	5.15
Espaçamento entre barras	mm	25 a 51	15 a 76
Velocidade máxima de atravessamento (Para $Q_p$ )	m/s	0.9	0.9
Velocidade máxima de aproximação	m/s	0.3 a 0.6	0.6 a 1.0
Perda de carga máxima	m	0.15	0.15
Inclinação da grade	º	30 a 45	0 a 30

A produção de gradados pode ser bastante variável, consoante o tipo de efluentes, embora seja comum considerar-se um valor médio de 35-70 L/ 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> de efluente (Metcalf & Eddy, 2014).

##### UNIDADE COMPACTA

Por se tratar do processo mais amplamente utilizado em unidades pré-fabricadas, apresentam-se neste Guia os critérios relativos ao dimensionamento de lamas ativadas por arejamento prolongado, seguido de decantação secundária, no interior de um mesmo módulo de tratamento. Este processo permite dispensar a decantação primária e obter lamas já mineralizadas, que poderão ser facilmente espessadas e desidratadas (dispensando digestão).

O tratamento de efluentes por lamas ativadas constitui um processo de tratamento biológico do tipo aeróbio, onde o efluente orgânico é introduzido num reator contendo uma cultura de bactérias em suspensão. Uma vez no reator, a matéria orgânica presente no efluente é utilizada pelos microrganismos como fonte de carbono para síntese de novas células, ocorrendo igualmente o processo de respiração endógena, ou oxidação total, cujos produtos finais são o dióxido de carbono, água, amoníaco e energia.

A manutenção de um ambiente aeróbio no reator é conseguida através do recurso a difusores ou outros dispositivos de arejamento mecânico, que garantem igualmente a agitação necessária para manter uma mistura completa das células no seio do líquido.

Após a garantia de um determinado tempo de residência do efluente no reator, suficiente para que a matéria orgânica nele presente tenha sido degradada, a mistura de células e líquido é conduzida para um tanque de decantação, onde é realizada a separação destes, e conseqüente saída de efluente final, já tratado.

Dado que a concentração de células no reator é de importância significativa, para que se possa assegurar uma rápida degradação da matéria orgânica, é muitas vezes realizada uma recirculação das células decantadas (denominadas lamas ativadas), novamente para o reator de arejamento, sendo as restantes recolhidas e estabilizadas antes da sua deposição final.

Dos métodos biológicos usualmente utilizados, o de lamas ativadas apresenta um elevado grau de eficiência. O princípio de funcionamento deste tipo de tratamento consiste no prolongamento da fase de arejamento, relativamente ao processo convencional, para que os microrganismos desenvolvam a sua atividade na fase de crescimento endógeno, conduzindo assim a uma oxidação quase total da matéria orgânica, atingindo-se remoções de  $CBO_5$  na ordem dos 95%.

O desenvolvimento deste tipo de tratamento em módulos compactos desenrola-se em unidades que

se dividem geralmente em dois compartimentos, referentes às duas fases do processo: no primeiro compartimento efetua-se o arejamento da massa líquida, sendo o efluente resultante (mistura de água residual e lama ativada) conduzido ao segundo, onde é submetido a uma decantação secundária. O efluente, depois de decantado, flui para o canal de saída.

Estes módulos podem funcionar totalmente enterrados no solo, parcialmente enterrados ou a descoberto, dispondo, em todo o caso, de câmaras de inspeção em cada compartimento, para controlo visual do processo. No presente caso, o arejamento será assegurado por difusores (instalados no fundo do primeiro compartimento), sendo necessária a existência de uma bomba de recirculação de lamas, destinada a garantir a concentração de biomassa adequada no reator aeróbio.

Uma vez que se trata de uma solução pré-fabricada, os módulos de tratamento compacto são selecionados em função da população a servir, sendo o seu dimensionamento baseado da população de projeto. Os vários fornecedores disponíveis no mercado nacional apresentam diferentes escalões populacionais, variando geralmente entre 50 e 1000 habitantes.

A título informativo, apresentam-se no Quadro 4.8 os critérios de dimensionamento usualmente referidos na bibliografia da especialidade relativamente a reatores de lamas ativadas na variante de arejamento prolongado e de decantadores secundários.

Quadro 4.8 – Critérios de dimensionamento de lamas ativadas em arejamento prolongado (Metcalf & Eddy, 2014)

Grandeza	Unidade	Valor
<b>Arejamento prolongado</b>		
Carga mássica global (F/M)	kg CBO <sub>5</sub> /kg SSV/dia	0.05 a 0.15
Carga volúmica (F/V)	kg CBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> /dia	0.16 a 0.4
Matéria total em suspensão (MLSS)	g/l	3 a 6
TRH (V/Q)	h	18 a 36
Taxa de recirculação, Q <sub>r</sub> /Q	-	0.5 a 1.50
<b>Decantador secundário</b>		
Carga hidráulica	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .dia)	
	Para Q <sub>m</sub>	8.1 a 16.3
	Para Q <sub>p</sub>	24.4 a 32.6
Carga de sólidos	kg/(m <sup>2</sup> .dia)	
	Para Q <sub>m</sub>	1.0 a 4.9
	Para Q <sub>p</sub>	6.8
Profundidade útil	m	3.7 a 6.1
TRH	h	
	Para Q <sub>m</sub>	4.0
	Para Q <sub>p</sub>	1.5

As características geométricas dos módulos compactos são definidas pelo fornecedor.

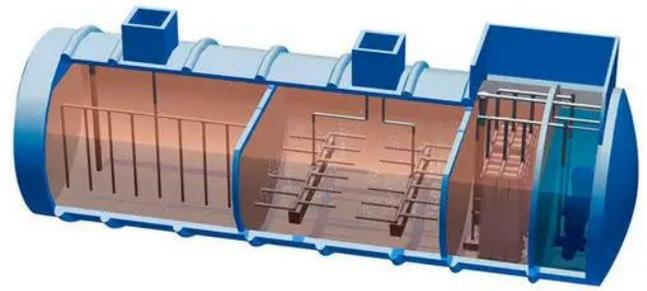


Figura 4.6 – ETAR compacta Suez Water Technology & Solutions



Figura 4.7 – ETAR compacta por MBR no Líbano (crédito: SuSanA)



Figura 4.8 – ETAR compacta por SBR (Ecodepur, S.A.)

#### 4.4.5 Lagunagem

O tratamento de águas residuais em lagoas de estabilização, trata-se de um processo de base natural, e ocorre em bacias construídas confinadas por taludes. O tratamento acontece por processos naturais, com influência de microrganismos, algas, radiação solar, temperatura e vento.

O tratamento pode ocorrer em lagoas individuais, mas é mais comum a sua utilização numa combinação em série, para maior eficiência. Existem três tipos de lagoas, nomeadamente anaeróbias, facultativas e de maturação, cada uma com características e objetivos diferentes. As lagoas são sistemas de tratamento de baixo custo e reduzida manutenção, com elevada remoção de  $CBO_5$  e agentes patogénicos. No entanto, devido aos elevados tempos de retenção necessários, as lagoas requerem elevada disponibilidade de área, idealmente em terrenos predominantemente planos, pelo que poderão não configurar soluções amplamente aplicáveis a todo o território da Região Autónoma dos Açores.

Num tratamento de lagunagem em série, a sequência de tratamento mais comum é: anaeróbia – facultativa – maturação (opcional) (Figura 4.10). As lagoas anaeróbias e facultativas são utilizadas para a remoção de matéria orgânica e sólidos, enquanto as lagoas de maturação são utilizadas para afinação e remoção de agentes patogénicos (desinfeção), por ação direta da radiação solar.

As lagoas anaeróbias têm profundidades relativamente elevadas (3 a 6 metros) para minimizar a troca de oxigénio com a atmosfera exterior, uma vez que os processos biológicos são

predominantemente anaeróbicos. O objetivo desta primeira fase é reduzir a carga orgânica e promover uma separação sólido/líquido (as lamas assentam no fundo da lagoa).

As lagoas facultativas são dimensionadas com uma altura líquida de 3 metros, o que permite a separação da fase líquida em duas camadas: a camada superior (com aproximadamente 1.5 a 2 metros) onde, devido às trocas de oxigénio com a atmosfera e devido à atividade das algas, estão presentes condições aeróbicas e prevalecem os microrganismos aeróbios; e a camada inferior onde não ocorre transferência de oxigénio nem luz para o desenvolvimento de algas, e prevalecem os microrganismos anaeróbios. A degradação da matéria orgânica é maximizada desta forma, sem qualquer consumo de energia, uma vez que são criadas duas zonas separadas com as condições apropriadas para a atividade dos dois tipos de microrganismos responsáveis por esta degradação. Os organismos aeróbicos e anaeróbicos trabalham em conjunto para alcançar reduções de  $CBO_5$  de até 75%.

As lagoas de maturação têm como objetivo uma eliminação de microrganismos patogénicos. O agente eliminador são os raios solares pelo que devem penetrar tanto quanto possível em toda a massa líquida, razão pela qual a profundidade destas lagoas é limitada a 1.5 metros. Esta deve ser a solução a adotar sempre que se pretenda uma redução significativa da carga microbiológica presente nas águas residuais a reutilizar.



Figura 4.9 – Vista de ETAR de lagunagem de Ponte dos Leites (Águas de Juturnaíba, Brasil)

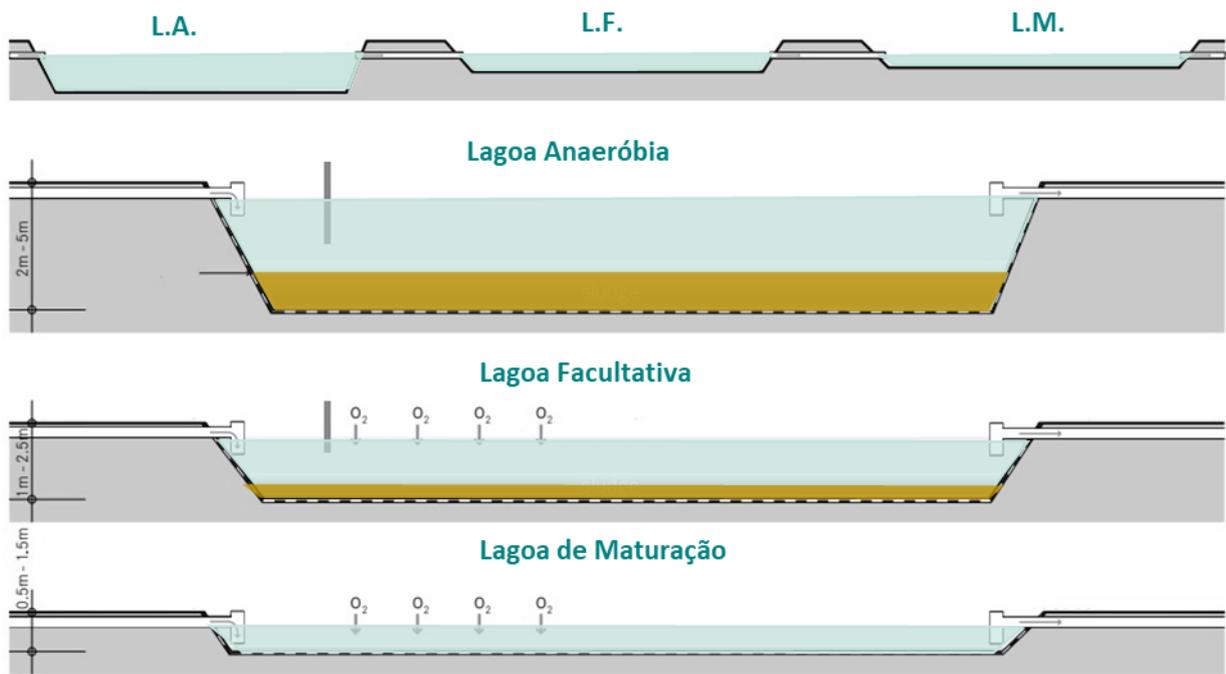


Figura 4.10 – Esquema de tratamento de efluentes por lagunagem (adaptado de Tilley *et al.*, 2014)

## CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

### LAGOAS ANAERÓBIAS

As lagoas anaeróbias constituem, normalmente, o primeiro estágio de uma sequência de tratamento. As lagoas anaeróbias têm profundidades relativamente elevadas (3 a 6 metros) para minimizar as trocas de oxigênio com a atmosfera exterior, uma vez que no seu interior se desenvolvem processos biológicos predominantemente anaeróbios. Os principais critérios de dimensionamento das lagoas anaeróbias, incluem o tempo de retenção, a relação comprimento/largura, a taxa de acumulação de lamas e parâmetros para a remoção de  $CBO_5$ .

As eficiências de remoção de  $CBO_5$  e SST encontram-se usualmente entre 50-75%.

Quadro 4.9 – Critérios de dimensionamento de lagoas anaeróbias (adaptado de Von Sperling, 2006)

Grandeza	Unidade	Valor
Carga orgânica volúmica	kg $CBO_5/m^3/dia$	0.10-0.35
Relação comp./largura	m/m	1 a 3
Taxa de acumulação de lamas	$m^3/hab/ano$	0.01-0.04
TRH	dias	3 a 6
Profundidade útil	m	3 a 5

## LAGOAS FACULTATIVAS

As lagoas facultativas tradicionais são dimensionadas para permitir a separação da sua massa líquida em duas camadas: a camada superior onde, devido às trocas de oxigénio com a atmosfera e devido a atividade das algas, se verificam condições de aerobiose e prevalecem microrganismos aeróbios; e a camada inferior onde não chega a transferência de oxigénio nem a luz para o desenvolvimento de algas e prevalecem microrganismos anaeróbios. A degradação da matéria orgânica é maximizada desta forma, sem qualquer consumo de energia, uma vez que se criam duas zonas separadas com as condições adequadas para a atividade dos dois tipos de microrganismos responsáveis por essa degradação.

Os principais critérios de dimensionamento das lagoas facultativas tradicionais são o tempo de retenção, relação comprimento/largura, taxa de acumulação de lamas e parâmetros de remoção de CBO<sub>5</sub> e de remoção (parcial) de coliformes.

À semelhança das lagoas anaeróbias, as lagoas facultativas não requerem qualquer equipamento especial e não acarretam consumos energéticos. Se as lagoas forem arejadas, o tempo de retenção pode ser inferior, e devem verificar-se as necessidades de arejamento.

A altura de água considerada inicialmente pode ser de cerca de 2 metros, enquanto o sistema funcionar em anaerobiose. Pode-se prever uma altura elevada de bordo livre, para flexibilização futura, se houver necessidade de arejamento das lagoas. Nesses casos deve prever-se uma lagoa de decantação, devido ao aumento expectável das lamas produzidas.



Quadro 4.10 – Critérios de dimensionamento de lagoas facultativas (adaptado de Von Sperling, 2006)

Grandeza	Unidade	Valor
Carga orgânica superficial	kg CBO <sub>5</sub> /ha/dia	100-350
Relação comp./largura	m/m	2 a 4
Taxa de acumulação de lamas	m <sup>3</sup> /hab/ano	0.03-0.08
TRH	dias	15 a 45
Profundidade útil	m	1.5 a 2
Coef. de remoção da CBO <sub>5</sub> a 20°C (mist. completa)	d <sup>-1</sup>	0.25-0.32
Coef. de temperatura q, a 20°C (mist. completa)	-	1.05-1.085
CBO <sub>5</sub> particulada efluente	mg CBO <sub>5</sub> /mg SS	0.3 a 0.4
Nº de dispersão	-	0.02 a 0.7
Coef. de decaimento colif. a 20°C (mist. completa)	d <sup>-1</sup>	0.4-0.5
Coef. de temperatura q, a 20°C (mist. completa)	-	1.07

A concentração efluente de coliformes em lagoas facultativas é obtida através das seguintes expressões:

$$N = N_0 \times \frac{4ae^{1/(2d)}}{(1+a)^2 e^{a^2 d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}}$$

sendo,

$$a = \sqrt{1 + 4Ktd}$$

N – concentração de coliformes no efluente (FC/100 ml)

N<sub>0</sub> – concentração de coliformes no afluente (FC/100 ml)

K – coeficiente de decaimento de coliformes ( $\text{dia}^{-1}$ ), obtido para uma temperatura de efluente T ( $^{\circ}\text{C}$ ), através de  $K = K_{b,20^{\circ}\text{C}}\theta^{(T-20)}$

t – tempo de retenção hidráulico (dias)

d – número de dispersão (-), obtido por  $d = 1 / \left( \frac{\text{Comprimento}}{\text{Largura}} \right)$

## LAGOAS DE MATURAÇÃO

As lagoas de maturação permitem a desinfecção e remoção de coliformes e outros agentes patogénicos através da ação da radiação ultravioleta solar, pelo que é habitual adotar profundidades reduzidas. Estas lagoas podem ser construídas em série (3 ou mais células) ou podem ser lagoas com deflectores (chicanas), onde o percurso deve ser predominantemente longitudinal, obtido através da utilização de deflectores que forcem o efluente a percorrer um percurso em zig-zag.

O Quadro 4.11 mostra os critérios de conceção das lagoas de maturação.



Quadro 4.11 – Critérios de dimensionamento de lagoas de maturação (adaptado de Von Sperling, 2006)

Grandeza	Unidade	Valor
Relação comp./largura	m/m	(a)
TRH	Dias	> 15
Profundidade útil	m	0.8 a 1.2
CBO <sub>5</sub> particulada efluente	mg CBO <sub>5</sub> /mg SS	
Nº de dispersão	-	0.03 a 1.1
Coef. de decaimento colif. a 20°C (mist. completa)	d <sup>-1</sup>	0.6-1.2 (b)
Coef. de temperatura q, a 20°C (mist. completa)	-	1.07

- em lagoas de maturação de uma única célula > 10; em cada lagoa de um sistema em série de mais de 3 tanques: 1-3.
- O valor refere-se a lagoas em série. As lagoas em chicane não são bem representadas pelo regime de mistura completa.

O cálculo da remoção de coliformes fecais deve também considerar a remoção (parcial) que também pode ocorrer em lagoas opcionais antes da fase de maturação e é efetuado através da mesma expressão que para as lagoas facultativas.

### 4.4.6 Considerações finais

Os sistemas de tratamento apresentados anteriormente são aplicáveis e igualmente adequados a pequenos aglomerados. No entanto, considera-se que a escolha da solução a adotar, deve privilegiar **soluções de base natural**, como leitões de macrófitas, ou **soluções de fossa séptica e disposição final**. Estes sistemas apresentam vantagens do ponto de vista económico e ambiental, uma vez que acarretam consumos de reagentes e de energia desprezáveis, ou até mesmo nulos, para além de reduzida necessidade de operação e manutenção.

## 4.5 Disposição final de efluentes de fossas sépticas

### 4.5.1 Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração consistem em valas estreitas escavada no solo, com profundidades geralmente não superiores a um metro e enchimento adequado, que podem ser usadas sempre que o terreno ofereça boas condições de permeabilidade e o posicionamento do nível freático não acarrete o perigo de poluição de águas subterrâneas. Estas estruturas garantem a depuração do efluente através de ação mecânica (por filtração) e de ação biológica (processo aeróbico assegurado por bactérias presentes nas camadas superiores do terreno).

O enchimento pode ser constituído por brita, blocos, estruturas alveolares em plástico (ou ainda por materiais para reutilização, como pneus), de forma a garantir uma adequada percentagem de vazios destinada ao armazenamento temporário da água pluvial. A alimentação de uma trincheira de infiltração pode ser feita diretamente através das escorrências superficiais ou através de rede de coletores.

O efluente pode infiltrar-se no solo pela base e/ou pelas paredes da estrutura, ou ser encaminhado para um sistema de drenagem, apresentando a trincheira, neste caso, apenas a função de detenção.

As trincheiras ainda ser distinguidas consoante apresentem ou não cobertura, composta por materiais diversos, como lajes, blocos de material poroso ou alveolar, seixos ou coberto vegetal, designadamente relva (Figura 4.11). A existência de cobertura poderá ser influenciada pela qualidade das águas pluviais, uma vez que a presença de uma camada superior drenante permite que se verifique uma filtração das escorrências superficiais, reduzindo o teor em matérias poluentes finas. Assim, no caso de escorrências pluviais pouco

poluídas, as trincheiras apresentam-se normalmente a descoberto.

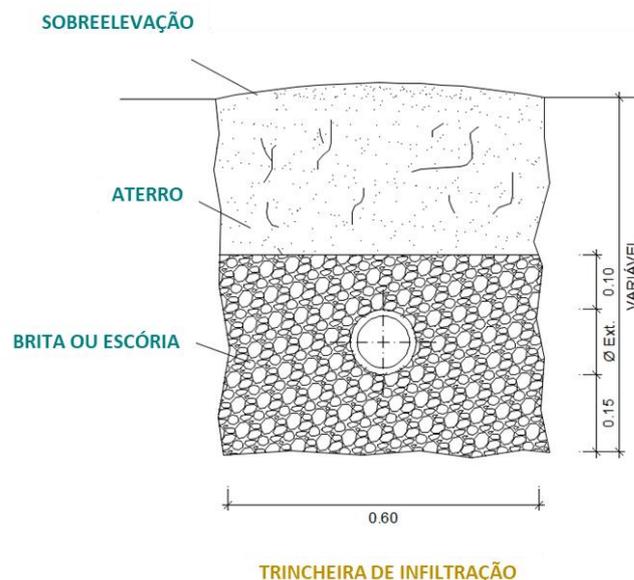


Figura 4.11 – Secção tipo de trincheira de infiltração

### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento das trincheiras de infiltração consiste na determinação da extensão necessária para a infiltração do efluente e pode ser efetuado recorrendo ao Quadro 4.12. A área das trincheiras, que não deve ser inferior a 10 m<sup>2</sup> (Morais, 1962), varia consoante a permeabilidade dos terrenos (a aferir mediante a realização de ensaios “*in situ*”) e os caudais a infiltrar.

Caso sejam usadas várias trincheiras paralelas entre si, ou seja, filtros de areia enterrados, estas deverão estar afastadas 2 m entre si (Figura 4.12).



(Crédito: Cahill Associates, Inc)

Quadro 4.12 - Dimensionamento da trincheira de infiltração de acordo com as propriedades de permeabilidade do solo (adaptado de Bartolomeu, 1996)

Tempo de infiltração para rebaixamento de 2,5 cm (min)	Taxa de infiltração (l/m <sup>2</sup> .d)	Largura da trincheira no fundo (m)	Comprimento por habitante (m/hab)	Permeabilidade (cm/s)	Natureza do solo
< 2	130	0.4 - 0.9	1.5 - 0.7	$1 \times 10^{-2}$	areia grossa
3	105		1.9 - 0.9	$5 \times 10^{-3}$	mistura de areias
4	90		2.2 - 1.0		
5	85		2.4 - 1.1		
10	60		3.3 - 1.5	$1 \times 10^{-3}$	areia fina
15	45		4.4 - 2.0		
30	35		5.7 - 2.5	$1 \times 10^{-4}$	areia siltosa
60	25		8 - 3.6		
> 60		Não aplicável		$1 \times 10^{-5}$	silte

O comprimento total não deve exceder os 25 m.

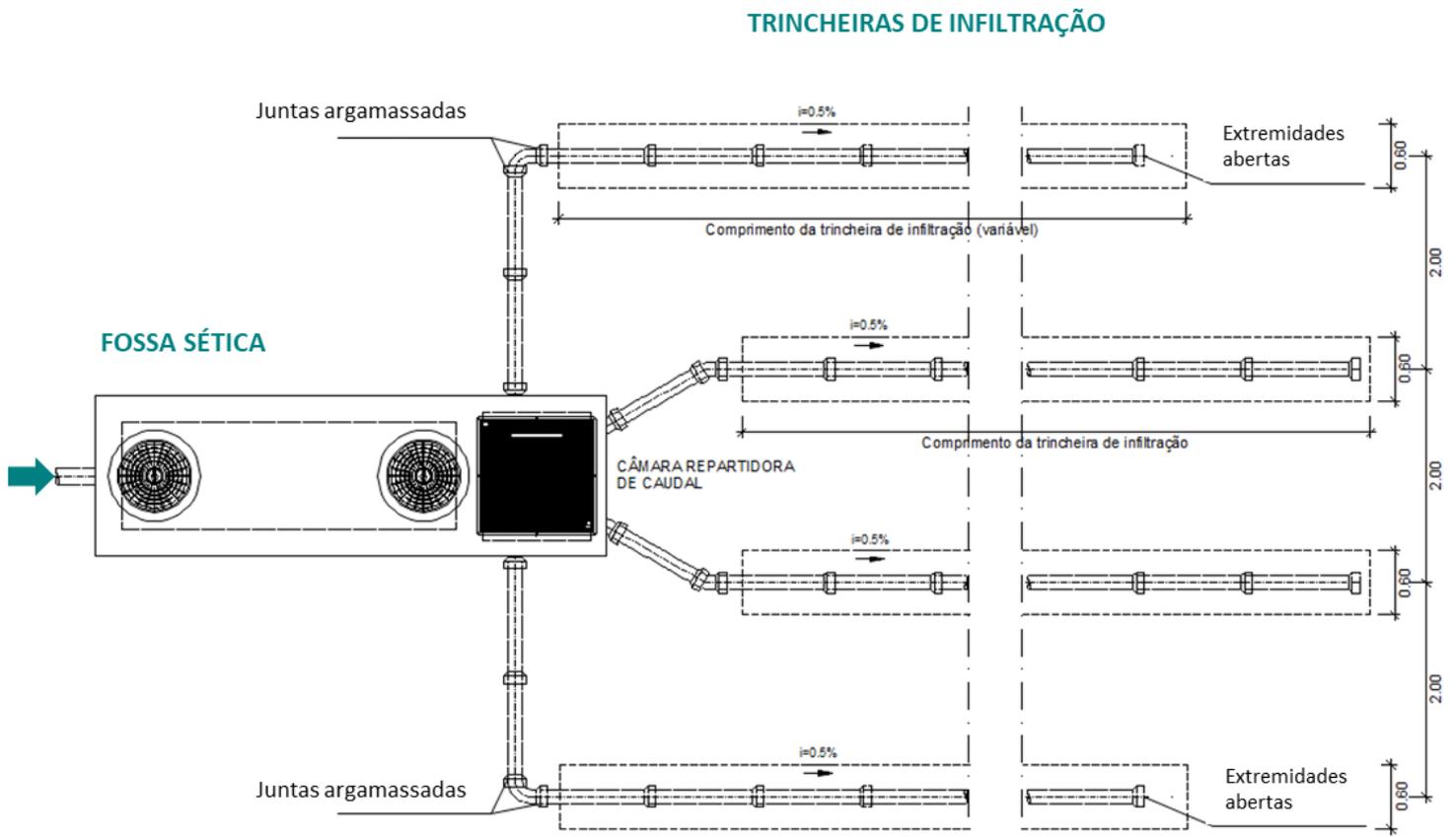


Figura 4.12 – Implantação de trincheiras de infiltração a jusante de fossa séptica

#### 4.5.2 Poços filtrantes

Os poços absorventes são infraestruturas que permitem a infiltração direta de águas residuais tratadas ou pluviais no solo e que podem dispor, ou não, no seu interior, de material de enchimento (geralmente pedra ou gravilha). Apresentam a vantagem de poderem ser aplicados em locais onde a camada superficial do solo é pouco permeável (zonas urbanizadas, terrenos superficialmente impermeáveis), mas que dispõem de boa capacidade de infiltração na camada mais profunda do solo.

Existem geralmente dois tipos principais de poços absorventes, função da posição da base do poço relativamente ao nível freático: os poços de infiltração e os poços de injeção.

No primeiro caso, em que a cota do nível da base do poço está acima do nível freático, a água pluvial é infiltrada através de percolação pela camada não saturada do solo. No segundo caso, em que o nível freático está acima do nível da cota da base do poço, a água pluvial rececionada é conduzida diretamente ao aquífero.

A alimentação de um poço absorvente pode ser feita quer diretamente através do escoamento superficial quer através de uma rede de coletores.

Entre as vantagens específicas destes dispositivos conta-se a sua facilidade de integração no tecido urbanizado e a economia em termos de utilização de espaço. Os inconvenientes dos poços absorventes prendem-se com a escala reduzida dos efeitos de armazenamento, a necessidade de manutenção regular e frequente para evitar fenómenos de colmatagem, e com eventuais riscos de contaminação de águas subterrâneas.

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Após a realização de ensaios para determinar a permeabilidade dos solos (Capítulo 5), o dimensionamento dos poços absorventes pode ser efetuado recorrendo ao Quadro 4.13.

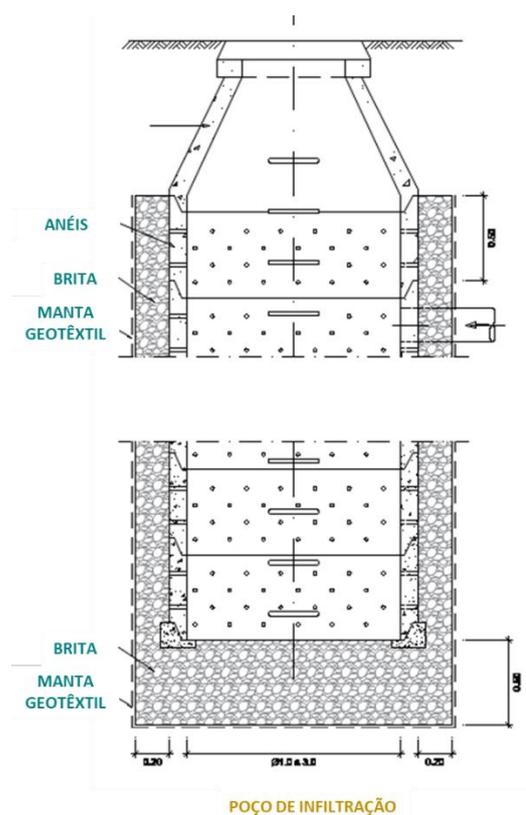


Figura 4.13 – Exemplo de Poço de infiltração

No que se refere aos ensaios de permeabilidade dos solos, embora seja possível executar ensaios expeditos, a utilização de ensaios laboratoriais produz resultados mais fiáveis pelo que deve ser usada sempre que possível (Bartolomeu, 1996). Caso as formações permeáveis não se localizem a pouca profundidade o poço pode ser escavado até estas serem atingidas e os ensaios de permeabilidade poderão ser feitos a partir desse nível. Caso existam dúvidas sobre a impermeabilidade da camada superior é aconselhável que sejam realizados ensaios em diferentes profundidades. A permeabilidade considerada para o dimensionamento deverá ser a média destes valores (Morais, 1962).

O diâmetro usual dos poços varia entre 1.0 a 3.0 m. O dimensionamento dos poços de infiltração pode-se efetuar através dos seguintes passos:

- 1) determinação da taxa de infiltração do solo, de acordo com o tempo necessário para rebaixamento de 2.5 cm, conforme exemplificado no Quadro 4.13.

2) obtenção da profundidade (altura útil) de cada poço, tendo em conta o seu diâmetro e o número de habitantes a servir, através do mesmo quadro.

3) estimativa do número de poços necessários, através da expressão:

$$N = \frac{Q_{\text{afluente}}}{t_{\text{inf}} \times A_{\text{unit\_poço}}}$$

Em que:

$Q_{\text{afluente}}$  – caudal afluente aos poços (l/dia)

$t_{\text{inf}}$  – Taxa de infiltração (l/(m<sup>2</sup>.d))

$A_{\text{unit\_poço}}$  – Área unitária de cada poço (m<sup>2</sup>)

Quadro 4.13 – Critérios de dimensionamento de poço absorvente (adaptado de Bartolomeu, 1996 e Morais, 1962)

Tempo de infiltração para abaixamento de 2,5 cm(min)	Taxa de infiltração (l/m <sup>2</sup> .d)	Permeabilidade (cm/s)	Natureza do solo	Diâmetro do poço (m)					
				1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
				Altura útil do poço por habitante (m/hab)					
< 2	130	1 x 10 <sup>-2</sup>	areia grossa	0.39	0.31	0.26	0.20	0.16	0.13
3	105	5 x 10 <sup>-3</sup>	mistura de areias	0.47	0.38	0.31	0.24	0.19	0.16
4	90			0.54	0.43	0.36	0.27	0.22	0.18
5	85			0.59	0.47	0.39	0.30	0.24	0.20
10	60	1 x 10 <sup>-3</sup>	areia fina	0.78	0.62	0.52	0.39	0.31	0.26
15	45			0.89	0.71	0.59	0.45	0.39	0.30
30	35	1 x 10 <sup>-4</sup>	areia siltosa	1.17	0.94	0.78	0.59	0.47	0.39
> 30	Não aplicável	1 x 10 <sup>-5</sup>	silte	Não aplicável					

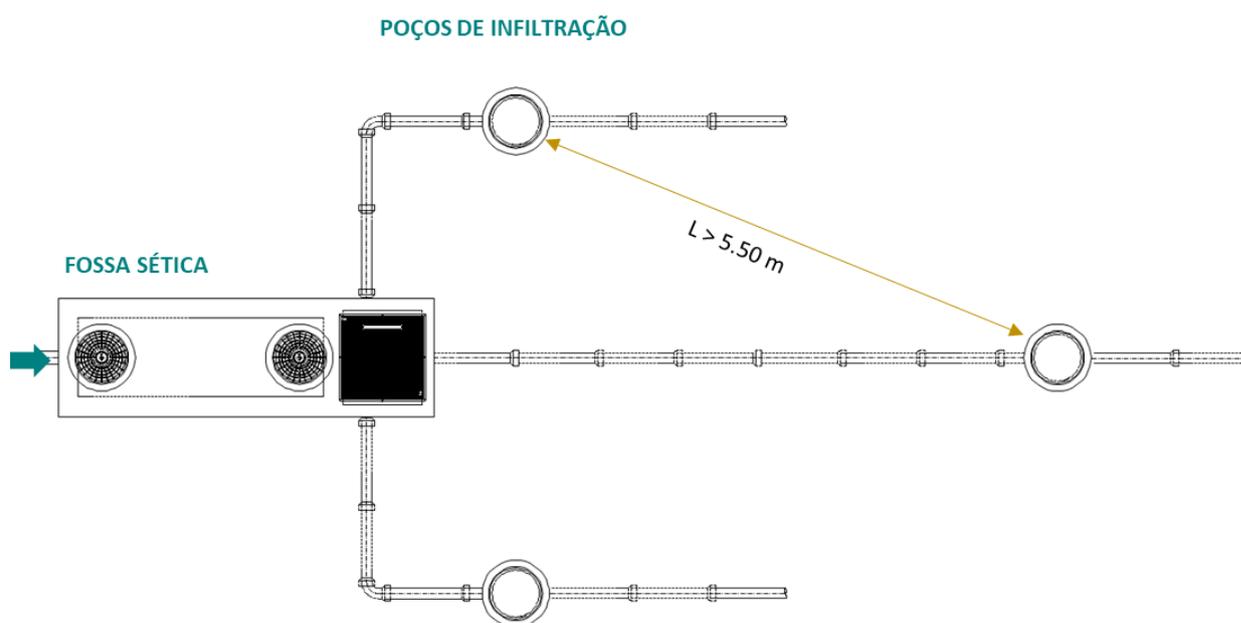


Figura 4.14 – Exemplo de implantação de poços filtrantes

### 4.5.3 Aterros filtrantes

Os aterros filtrantes são órgãos de tratamento complementares, constituídos sobre terreno natural, que constituem uma opção de disposição final a considerar quando o terreno é de difícil escavação, os solos são lentamente permeáveis ou caso o nível freático seja muito elevado e não permita recorrer a trincheiras de infiltração.

Um aterro filtrante é usualmente composto por um aterro (implantado acima do terreno natural), constituído por um material de enchimento adequado (usualmente areia), uma área de absorção, uma rede de distribuição, e uma camada de solo de cobertura (Figura 4.15).

O efluente das fossas sépticas é distribuído sobre o aterro através de tubagens emboquilhadas,

envolvidas por um material drenante, sendo recolhido pela tubagem inferior. A montante dos aterros filtrantes é comum existir uma pequena estação elevatória pois, geralmente a fossa séptica, de onde é proveniente o efluente, não se encontra numa cota suficientemente elevada para garantir energia suficiente para o escoamento.

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Segundo Bartolomeu (1996) o dimensionamento dos aterros filtrantes consiste na determinação da sua extensão (que, por regra, não excede os 38 m), efetuada de modo a garantir áreas do fundo de vala, por habitante, de 2.5 m<sup>2</sup> (para captações de 100 l/(hab.dia)) ou 2.0 m<sup>2</sup> (para captações de 80 l/(hab.dia)).

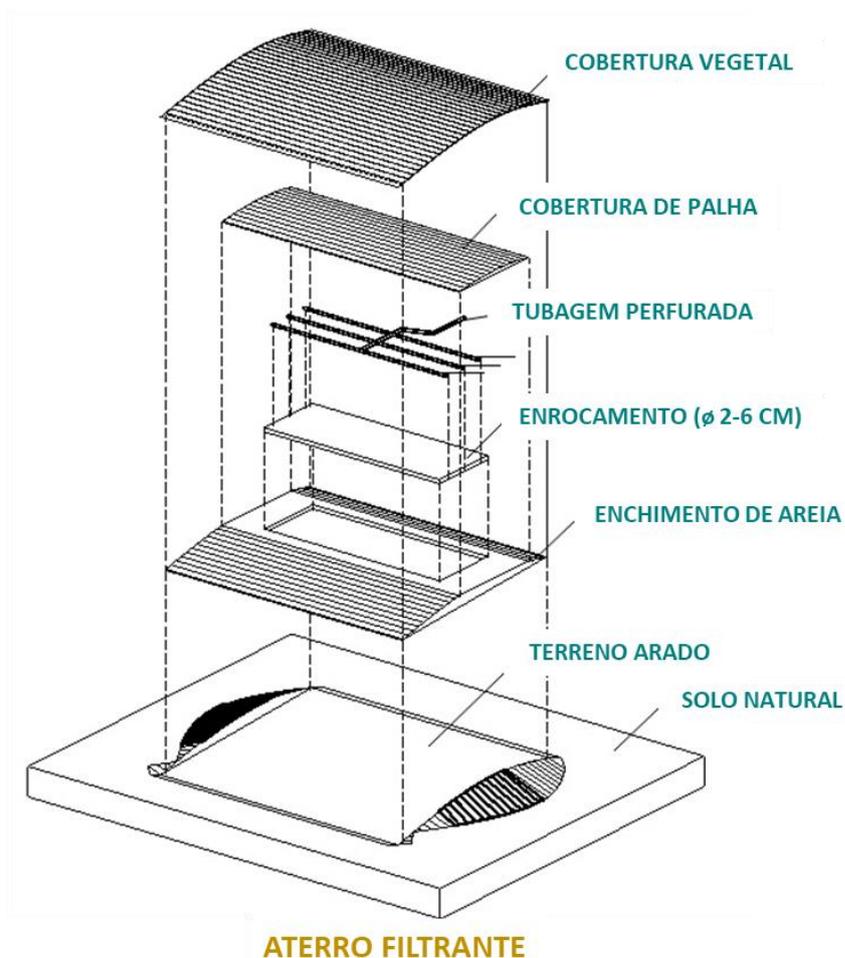


Figura 4.15 – Exemplo de esquema de camadas de um aterro filtrante

#### 4.5.4 Plataformas de evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) é um método de tratamento e descarga de águas residuais *in situ*, alternativo aos sistemas convencionais de infiltração, particularmente indicado para locais onde a proteção de águas superficiais e subterrâneas é fundamental. Este método consiste na construção de plataformas (ou leitos) de evapotranspiração, por forma a potenciar a evapotranspiração dos efluentes tratados, promovendo assim uma solução do tipo “zero discharge”. O destino final do efluente é a atmosfera, ficando os resíduos depositados na plataforma de evapotranspiração.

As plataformas de evapotranspiração são particularmente indicadas para locais onde a proteção de águas superficiais e subterrâneas é fundamental, ou que não exista disponibilidade para descarga em meio recetor ou infiltração no solo. Tal como no tratamento secundário por leitos de macrófitas, nos sistemas por ET, parte dos nutrientes pode ser reciclada pela biomassa vegetal, e a biomassa recolhida pode servir como fonte de bioenergia. A aplicação deste tipo de tratamento é muito comum nos países escandinavos, países bálticos, Polónia, Irlanda e Inglaterra (Brix e Arias, 2011). Os sistemas podem ser totalmente isolados, onde se promove a evapotranspiração total do efluente, ou sistemas que permitem alguma infiltração no solo dos caudais em excesso (não evaporados).

A seleção das plantas a utilizar deve privilegiar plantas com elevadas taxas de transpiração, que cresçam em solos saturados de água, apresentem elevada tolerância a acumulação de nutrientes e metais pesados, bem como a níveis elevados de salinidade. Desta forma, tem-se recorrido amplamente a espécies de salgueiros (*willows*) na construção de sistemas de evapotranspiração.

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Uma vez que o objetivo principal é a eliminação de descarga de efluentes líquidos, o principal critério de dimensionamento para obtenção da área necessária não é a carga orgânica de poluentes, mas

o caudal de água afluente. Istenič e Arias (2021) sugerem como critérios:

- Área entre 68-171 m<sup>2</sup> para 100 m<sup>3</sup> de água por ano, ou 30–75 m<sup>2</sup> per capita (admitindo uma captação de águas residuais de 120 l/(hab.dia).
- Consumo de energia: 7-10 kWh per capita e ano, para bombagem intermitente do afluente.

A avaliação da área necessária para a plataforma de evapotranspiração deve atender assim ao balanço hídrico, nomeadamente ter em conta o caudal afluente e a precipitação direta sobre as plataformas, e a capacidade de evapotranspiração das plantas a utilizar.

O caudal evapotranspirado dependerá das espécies plantadas, da sua disposição no solo e da temperatura e radiação global no local de implantação. De acordo com a literatura, verificam-se taxas de evapotranspiração na faixa de 4 a 12 mm/dia.

A evapotranspiração potencial pode ser estimada com base em duas equações empíricas frequentemente utilizadas na literatura, nomeadamente a de Turc (1961) e de Thornthwaite (1948). A primeira é expressa através da equação:

$$ETP = 0.013 \times \frac{T}{T + 15} \times \left( \frac{I'_g}{0.042} + 50 \right)$$

sendo,

ETP – evapotranspiração potencial (mm/d);

T – temperatura média no período (°C);

I'g – radiação global média diária incidente na superfície (MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>).

Thornthwaite estabeleceu a fórmula abaixo que se baseia na temperatura média mensal e que tem vindo a ser amplamente utilizada em regiões onde a temperatura média mensal é positiva.

$$ETP_m = \begin{cases} 16N_m \times \left(\frac{10 \times \bar{T}_m}{I}\right)^a & , \bar{T}_m > 0 \\ 0 & , \bar{T}_m < 0 \end{cases}$$

sendo,

$ETP_m$  – evapotranspiração potencial no mês  $m$  (mm);

$N_m$  – fator de ajustamento em função do número de dias do mês e da insolação astronómica média diária no mês (-);

$\bar{T}_m$  – temperatura média mensal no mês  $m$  (°C);

$I$  – índice térmico anual;

$a$  – expoente função do índice térmico anual.

As constantes a utilizar para o cálculo da evapotranspiração potencial no mês, de acordo com Thornthwaite, calculam-se através das equações:

$$N_m = \frac{H_{0m} \times D_m}{360}$$

Em que,

$H_{0m}$  – insolação astronómica média diária no mês  $m$  (h);

$D_m$  – número de dias do mês  $m$  (d).

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_m$$

onde,

$i_m$  – representa o índice térmico mensal.

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49239$$

Refira-se que, de acordo com Quintela (1986), as fórmulas de Thornthwaite e de Turc fornecem valores que são cerca de 50 % e 70 % da evaporação observadas em tinas de classe A, conduzindo por isso a estimativas por defeito.

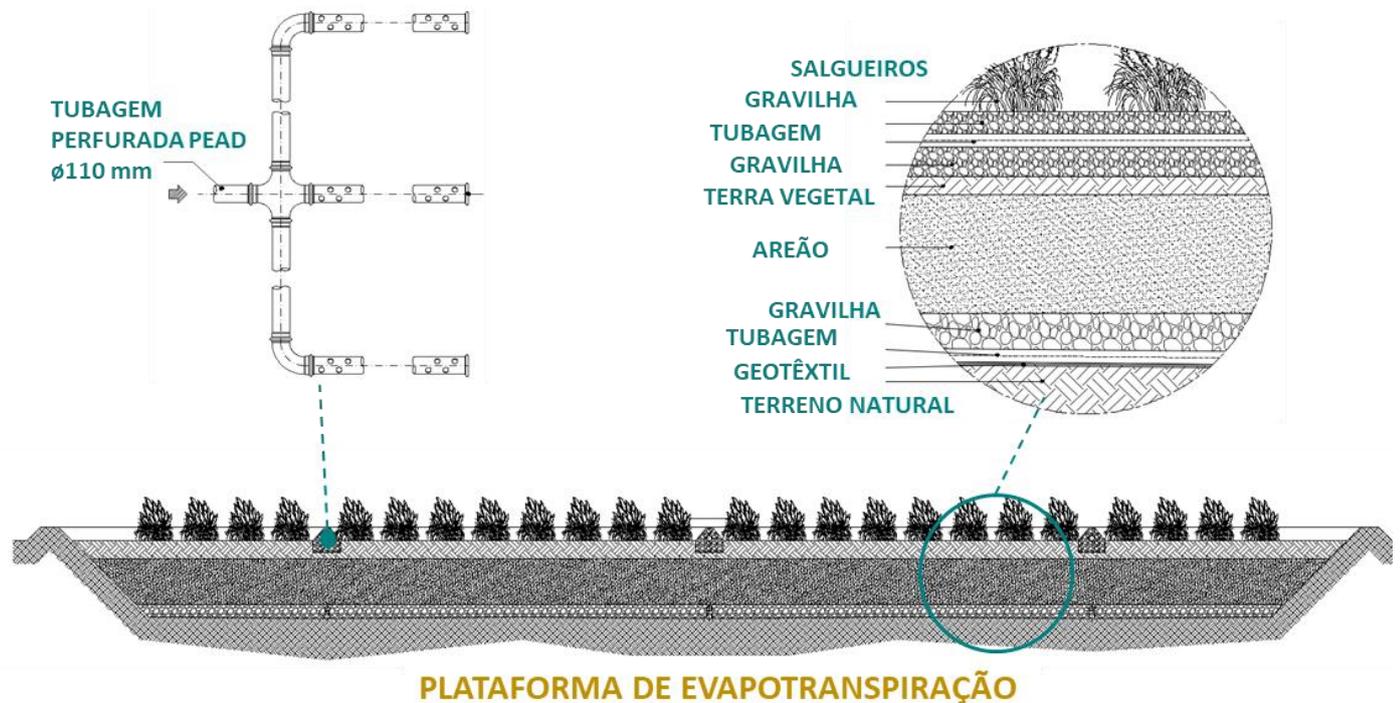


Figura 4.16 - Exemplo de corte e pormenores de plataforma de evapotranspiração

## 4.6 Estabilização e deposição final de lamas

### 4.6.1 Aspetos gerais

As operações de tratamento de lamas que resultam do tratamento de efluentes visam, por um lado, a redução de volume e peso das lamas (facilitando e minimizando custos de transporte e tratamento), e por outro, a redução de microrganismos patogénicos e a estabilização da matéria orgânica e nutrientes, contribuindo assim para a proteção da saúde pública e do meio ambiente.

A cadeia de serviços de gestão de lamas deve ser composta por três etapas principais:

- **Captção e armazenamento:** as excreções são captadas nas instalações sanitárias e armazenadas em fossas sépticas, onde parte do conteúdo líquido é descarregada (usualmente no solo), e o remanescente passa por um processo de digestão parcial durante o período de armazenamento.
- **Esvaziamento e transporte:** Os serviços de esvaziamento devem ser efetuados pela entidade gestora, ou por operadores devidamente autorizados, a quem a entidade gestora delegue essa competência.
- **Tratamento e disposição:** O tratamento de lamas deve assegurar a sua redução de volume, estabilização e higienização (eliminação de microrganismos patogénicos), de forma a proceder-se á disposição final em destino adequado (aterro sanitário) ou reutilização (corretivo de solos ou composto, entre outros).



Figura 4.17 – Esvaziamento de fossa séptica (ERSAR, 2017)

A cadeia de serviços deve considerar pelo menos as seguintes características principais: i) satisfazer as necessidades do usuário; ii) ser de simples operação, de baixo custo e de fácil utilização e manutenção; iii) garantir o tratamento adequado aos produtos resultantes (lamas e efluentes).

Em estações de tratamento centralizado (ETAR), justifica-se pela sua dimensão e população servida, a consideração de uma linha de tratamento de fase sólida das lamas resultantes do tratamento dos efluentes. Em sistemas de tratamento de pequenos aglomerados, dependendo das características dos agregados, escala e dispersão das povoações, pode-se preconizar o tratamento de lamas junto das pequenas instalações a prever, ou optar-se por considerar uma estação dedicada de tratamento de lamas (Estação de Tratamento de Lamas Fecais, ETLF) provenientes dos diversos sistemas existentes de tratamento primário ou secundário.

A localização das ETLF pode também ser prevista na proximidade de aterros sanitários existentes, uma vez que minimiza os focos de emissão de potenciais odores, e combina a localização com rotas já estabelecidas de transporte de resíduos.

Os processos de tratamento de lamas incluem processos físicos, químicos e biológicos. Os mecanismos físicos incluem a desidratação, secagem e redução de volume das lamas. Os mecanismos biológicos permitem a remoção e transformação de constituintes orgânicos, nutrientes e agentes patogénicos, através da ação dos microrganismos. Por último, os mecanismos químicos envolvem a utilização de aditivos para otimizar e controlar as reações desejadas, e são principalmente utilizados para a higienização e desidratação melhorada.

Pode ocorrer que as lamas provenientes de unidades de tratamento de pequenos aglomerados, como fossas sépticas, leitos de secagem ou arejamento prolongado, apresentem um teor de sólidos que permita dispensar a etapa inicial de sedimentação e/ou espessamento. Assim é usual

que a etapa de tratamento se inicie com a desidratação em leitos de secagem de lamas, seguida de estabilização (por compostagem ou adição de cal), caso se pretenda a sua estabilização e higienização para reutilização.

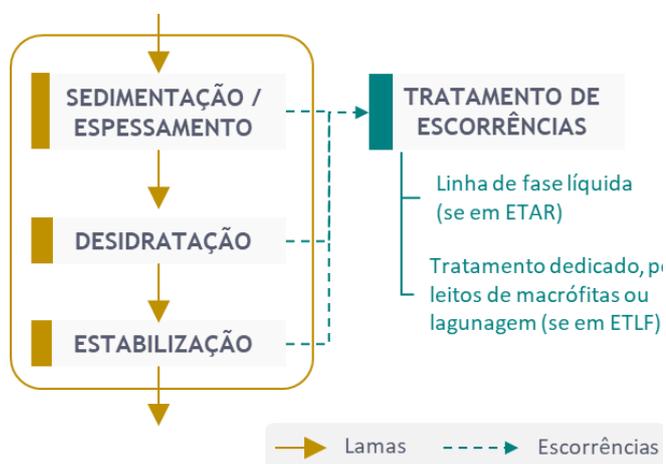


Figura 4.18 – Esquema usual de tratamento de lamas de pequenos aglomerados

Uma vez que o caudal de lamas expectável não é muito significativo, considera-se adequado o uso de leitos de secagem para a etapa de desidratação. Esta solução permite tirar partido de processos de filtração e de desidratação por ação solar, dispensando o uso de equipamentos eletromecânicos, necessários noutras soluções, como desidratação por filtros prensa ou centrífugas. Para a redução de agentes patogénicos, mas também de odores, preconiza-se uma etapa de estabilização, que pode ocorrer por via de mecanismos químicos (adição de cal ou secagem térmica) ou biológicos (compostagem, digestão aeróbia ou anaeróbia).

Como destino final, para além da deposição em aterro sanitário, assume maior importância num contexto de proteção ambiental e economia circular, a reutilização de lamas para a sua valorização agrícola ou energética (conforme descrito no Capítulo 7).

Descrevem-se nos capítulos seguintes os principais órgãos indicados para o tratamento de lamas do tratamento de efluentes de pequenos aglomerados.

Figura 4.19 – Estação de Tratamento de Lamas Fecais de Devanahalli, Índia (crédito: SusAnA)



#### 4.6.2 Leitos de secagem

Os leitos de secagem de lamas são tanques retangulares constituídos por uma camada filtrante (usualmente areia), destinados à desidratação de lamas pré-tratadas ou digeridas, tais como as provenientes de fossas sépticas ou tanques Imhoff. A secagem das lamas, através dos processos de evaporação e percolação, leva à redução do seu volume, facilitando o seu a destino final. Este método de secagem é especialmente apropriado para pequenos aglomerados onde não existem muitas restrições de disponibilidade de área.

As lamas afluem aos leitos de secagem através de uma conduta sob pressão, comandada por válvulas de seccionamento, localizadas junto de uma das paredes dos leitos. A zona onde lamas caem sobre os leitos pode ser protegida contra a erosão por uma lajeta de betão simples.

Depois de secas as lamas apresentam um teor de humidade entre 60 e 70 %, com fissurações à superfície e cor cinzenta. Se as lamas resultarem de processos de digestão e se encontrarem devidamente estabilizadas, podem ser eventualmente utilizadas na agricultura, dado serem ricas em matéria orgânica e nutrientes. Por vezes, pode ser necessário recorrer a uma etapa de estabilização adicional, através de processos químicos (como adição de cal) ou biológicos (compostagem).

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento dos leitos de secagem de lamas implica a determinação da área superficial total necessária, bem como o número de leitos de secagem a considerar. Para tal, considera-se uma espessura máxima de lamas de 20 a 30 cm e um período de secagem que pode variar entre 10 a 45 dias, dependendo da temperatura média local. Apresentam-se no Quadro 4.14 os principais critérios a considerar para efeitos de dimensionamento de leitos de secagem de lamas.

Quadro 4.14 - Critérios de dimensionamento dos leitos de secagem de lamas

Grandeza	Unidade	Valor
Capitação de lamas digeridas, $Q_{\text{lamas}}$	l/(hab.dia)	0.26
Tempo médio de secagem	dias	45
Número médio de descargas por ano	Ano <sup>-1</sup>	8

As dimensões dos leitos de secagem de lamas dependem da capacidade necessária, que pode ser estimada através da expressão:

$$V_{Ls} = \frac{Q_{\text{lamas}}}{n_{\text{med}}}$$

Em que:

- $V_{Ls}$  - capacidade total requerida (m<sup>3</sup>);
- $Q_{\text{lamas}}$  - caudal de lamas digeridas (m<sup>3</sup>/ano);
- $n_{\text{md}}$  - número médio de descargas por ano:  $365/t_{\text{secagem}}$  (ano<sup>-1</sup>);
- $t_{\text{secagem}}$  - tempo de secagem de lamas (dias).

Após determinação do volume necessário, procede-se então à determinação das dimensões dos leitos (comprimento e largura) a adotar.

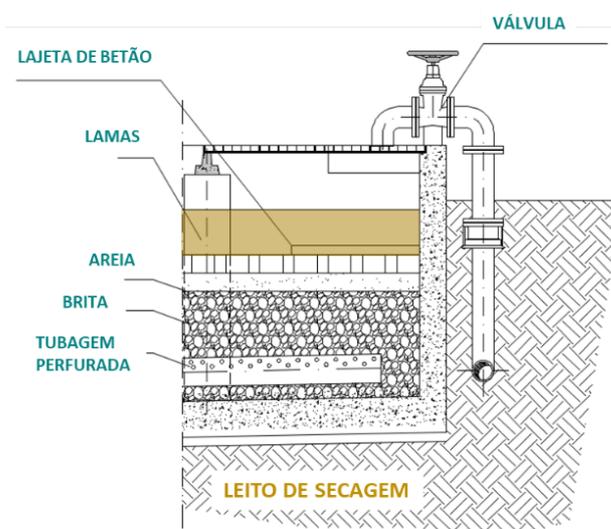


Figura 4.20 – Pormenor de alimentação de leito de secagem



Figura 4.21 – Leitos de secagem de lamas

#### 4.6.3 Leitos de secagem plantados

Os leitos de secagem de lamas plantados (*Reed beds*) ou leitos de macrófitas para lamas são semelhantes aos leitos de secagem tradicionais (não plantados), com a vantagem de preconizar um tratamento adicional da lama e efluentes pelas plantas. Estes leitos têm sido bastante utilizados no Norte da Europa na desidratação (drenagem e evapotranspiração) e mineralização de lamas (Nielsen, 2007).

A redução do volume de lamas a longo prazo ocorre em leitos plantados, usualmente com macrófitas emergentes, em parte devido a processos de desidratação (drenagem, evapotranspiração) e em parte devido à mineralização da matéria orgânica nas lamas (Brix, 2017). A lama é bombeada ou carregada diretamente para a superfície do leito, onde permanece a maior parte da fração sólida. A maioria do teor de água das lamas segue um fluxo descendente vertical através da lama e da camada filtrante do leito, enquanto que uma fração menor de água é perdida através de evapotranspiração. A difusão de oxigénio através do arejamento do leito filtrante e da lama agregada à superfície, e a difusão de oxigénio das raízes para a lama, permitem a existência de microrganismos aeróbicos perto das raízes e no interior da lama.

Este processo ocorre sem consumo de energia ou reagentes, apresentando como vantagem adicional o facto da fase líquida sofrer um tratamento preliminar enquanto ocorre a sua percolação através do leito filtrante. É usual ter lugar uma redução do CQO e dos sólidos das efluentes, até cerca de 60%, sendo comum verificar-se também algum nível, embora limitado, de nitrificação (Brix, 2017).

Uma vantagem adicional deste tipo de soluções aplicado ao tratamento de lamas fecais prende-se com o facto de se dispensar o tanque de sedimentação. Contudo, o correto dimensionamento e operação destes leitos implica, usualmente, um maior número de leitos (em regra entre 8 e 18) para se garantir intermitência do carregamento.

No que se refere à capacidade de eliminação de microrganismos patogénicos, alguns estudos mostram que o tratamento de lamas fecais em leitos de secagem plantados reduz a concentração de ovos de Helminthos nas lamas. No entanto, outros exemplos mostraram que os leitos plantados conseguiram uma eliminação completa dos ovos de helminto nas efluentes, mas não nos sólidos (Ingallinella *et al.*, 2002; Kengne *et al.*, 2009), necessitando assim de estabilização adicional.

A aparência dos leitos assemelha-se aos leitos de macrófitas de fluxo vertical. Um exemplo de aplicação desta solução em Portugal é a ETAR de Barroca d'Alva, em Alcochete.

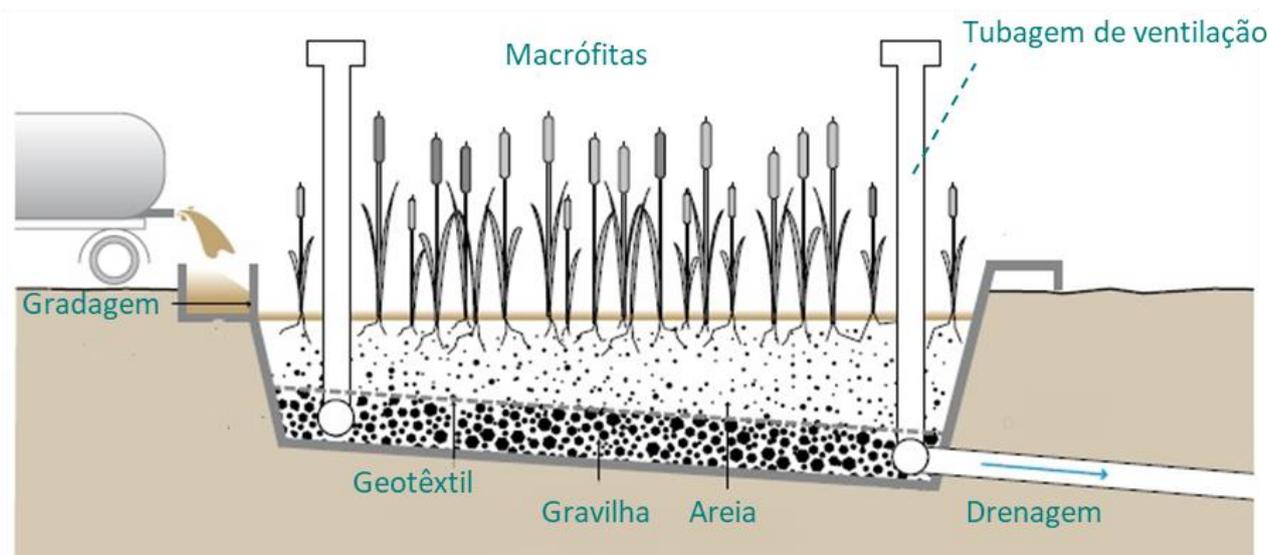


Figura 4.22 – Representação esquemática de leito de secagem plantado (adaptado de Tilley *et al.*, 2014)

### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento e eficiência deste tipo de processo depende de diversos fatores, tais como a qualidade das lamas fecais, as condições atmosféricas, o número de leitos previstos ou as taxas e frequências de carregamento de lamas. Apresenta-se no Quadro 4.15 os principais critérios para o dimensionamento dos leitos de secagem plantados.

Quadro 4.15 – Critérios de dimensionamento de leitos de secagem plantados (Nielsen, 2007; Tilley *et al.*, 2014)

Grandeza	Unidade	Valor
Nº de leitos	-	8 (MS > 500 ton); 16 ou mais (MS > 1000 ton)
Carga de aplicação de lamas	kg MS/m <sup>2</sup> /ano	60-80
Espessura das camadas de lamas	mm	75 a 100
Frequência de aplicação	dias	3-7 dias



Figura 4.23 – Leitos de secagem plantados (Baltic Smart Water Hub)

#### 4.6.4 Compostagem

A compostagem é um processo controlado de decomposição biológica da matéria orgânica. O produto final resultante é uma matéria escura, rica e semelhante ao húmus, que pode ser utilizada como corretivo ou aditivo de solos. O húmus é definido como a fração estável da matéria orgânica do solo que fica após a decomposição das porções principais de resíduos vegetais e animais adicionados. Os mecanismos inerentes a este processo são a oxidação de compostos orgânicos, a libertação e imobilização de nutrientes, e a síntese microbiana de novos compostos

O processo ocorre em três fases, nomeadamente: 1) fase de crescimento das bactérias, que degradam compostos facilmente degradáveis (por exemplo, açúcar, amido, proteínas, com aumento de temperatura); 2) alcance de temperaturas termófilas de 50-75°C, onde as bactérias termófilas se tornam ativas, promovendo uma decomposição adicional da matéria orgânica (redução e inativação de sementes de plantas, por exemplo, ervas daninhas); e 3) estabilização à medida que os últimos substratos facilmente degradáveis se esgotam, a atividade bacteriana abrande e a temperatura baixa.

Durante esta fase, os actinomicetos e os fungos degradam ainda mais moléculas orgânicas recalcitrantes como a celulose e a lignina (Strande *et al.*, 2014).

#### CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O processo de compostagem é controlado através da otimização da relação massa de carbono e azoto (C:N), teor de humidade, e fornecimento de oxigénio. Para assegurar condições ótimas para a compostagem de lamas, é necessário controlar os parâmetros presentes no Quadro 4.16.

Quadro 4.16 – Critérios de dimensionamento de compostagem de lamas (adaptado de Strande *et al.*, 2014; Eawag e IWMI, 2003; Kingel *et al.*, 2002)

Grandeza	Unidade	Valor
Rácio C:N	-	20-30:1
Concentração de oxigénio	%	5-10
Teor de humidade	%	40-60
Diâmetro das partículas	cm	< 5
Altura das pilhas	m	1-1.5
Tempo retenção	Dias	> 60

Para o dimensionamento da plataforma de compostagem, importa calcular a área necessária para a aplicação de pilhas de lamas (Figura 4.24), tendo em conta uma altura de pilhas de 1-1.5m para facilitar revolver as pilhas para garantir o arejamento necessário, e cerca de 1 m de espaço de circulação entre cada pilha.

O arejamento pode ser assegurado através de ventilação passiva (túneis de ar) ou pode ser reforçado por insuflação ou sucção de ar através da pilha de resíduos (arejamento ativo ou forçado). Em sistemas abertos, pode-se revolver mecanicamente ou manualmente as pilhas, assegurando também que o material no exterior da pilha seja deslocado para o centro, onde será sujeito a altas temperaturas.



Figura 4.24 – Pilhas de compostagem (Veolia, 2022)

#### 4.6.5 Estabilização química

A estabilização química visa a redução da capacidade de fermentação das lamas, através da adição de reagentes químicos em dosagens bacteriostáticas, usualmente conseguido através da cal.

A cal é utilizada no tratamento de lamas, de forma a conseguir a redução de agentes patogénicos, mas também de odores e alguma matéria orgânica, podendo adicionalmente proporcionar a precipitação de metais e fósforo (Mendez *et al.*, 2002).

A redução dos microrganismos patogénicos durante o processo de estabilização alcalina baseia-se num aumento do pH (até valores próximos de 12), da temperatura (reações de oxidação exotérmica) e concentração de amoníaco (Pescon e Nelson, 2005).

As formas mais comuns de cal utilizadas para o efeito são a cal viva ( $\text{CaO}$ ) e cal apagada, também designada por cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$ . O pH elevado, devido à formação de  $\text{CaHCO}_3$ , cria um ambiente que elimina ou retarda a degradação microbiana da matéria orgânica (Turovskiy e Mathai, 2006).

Como critérios de dimensionamento, é importante considerar um conjunto de parâmetros como as características das lamas, o pH, a dosagem de cal e o tempo de contacto.

Um benefício adicional da utilização de cal é que os metais pesados podem ser precipitados. No entanto, é muito importante prever condições de segurança adequadas, uma vez que a cal é corrosiva para a pele, olhos e pulmões. Neste sentido, prevê-se que a cal seja armazenada em paletes num edifício próprio para o efeito, com arejamento natural e equipado com lava-olhos ligado á rede de água potável.

Este processo de tratamento deverá ser efetuado numa plataforma ou edifício de estabilização, para onde a lama é transportada após desidratação nos leitos de secagem. Nesta plataforma, o operador acondiciona a lama em pilhas e encaminha-a para os tapetes transportadores da misturadora cal-lamas. Este equipamento, que contém uma tremonha vasa-sacos para adição da cal, permite a mistura das lamas com a cal, proporcionando assim a sua estabilização.

Para assegurar uma ação de higienização adequada, o tempo de contacto deve ser de cerca de 3 horas. A quantidade de cal normalmente empregue representa cerca de 30 a 40 % do peso da matéria seca das lamas e a mistura obtida permite que as lamas possam ser armazenadas durante períodos de tempo superiores.

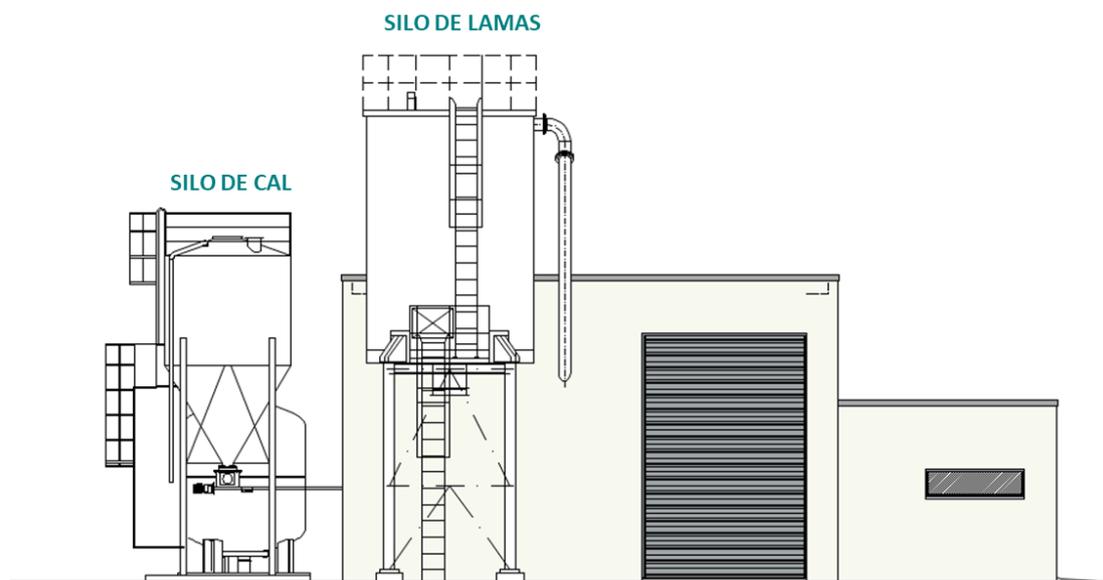


Figura 4.25 – Exemplo de silo de lamas e de cal para estabilização e armazenamento de lamas

Apresentam-se no Quadro 4.17 os critérios de dimensionamento para a etapa de estabilização química por adição de cal.

Quadro 4.17 – Critérios de dimensionamento de estabilização química

Grandeza	Unidade	Valor
Dosagem de cal hidratada	Ca(OH) <sub>2</sub> /ton lama	12-30
Densidade da cal hidratada	kg/m <sup>3</sup>	1500-1700
Tempo de contacto	h	> 3

A dosagem de cal pode ser efetuada numa tremonha que alimenta uma misturadora cal-lamas. O dimensionamento do equipamento depende do fornecedor, mas deverá garantir uma capacidade de alimentação superior a 20 kg/h.

O armazenamento de lamas desidratadas pode ser feito num silo de armazenamento de lamas ou contentor tipo *multibenne*, cujo volume deverá permitir um tempo de retenção de superior a 3 dias, para permitir a recolha periódica das lamas para o transporte para destino final.

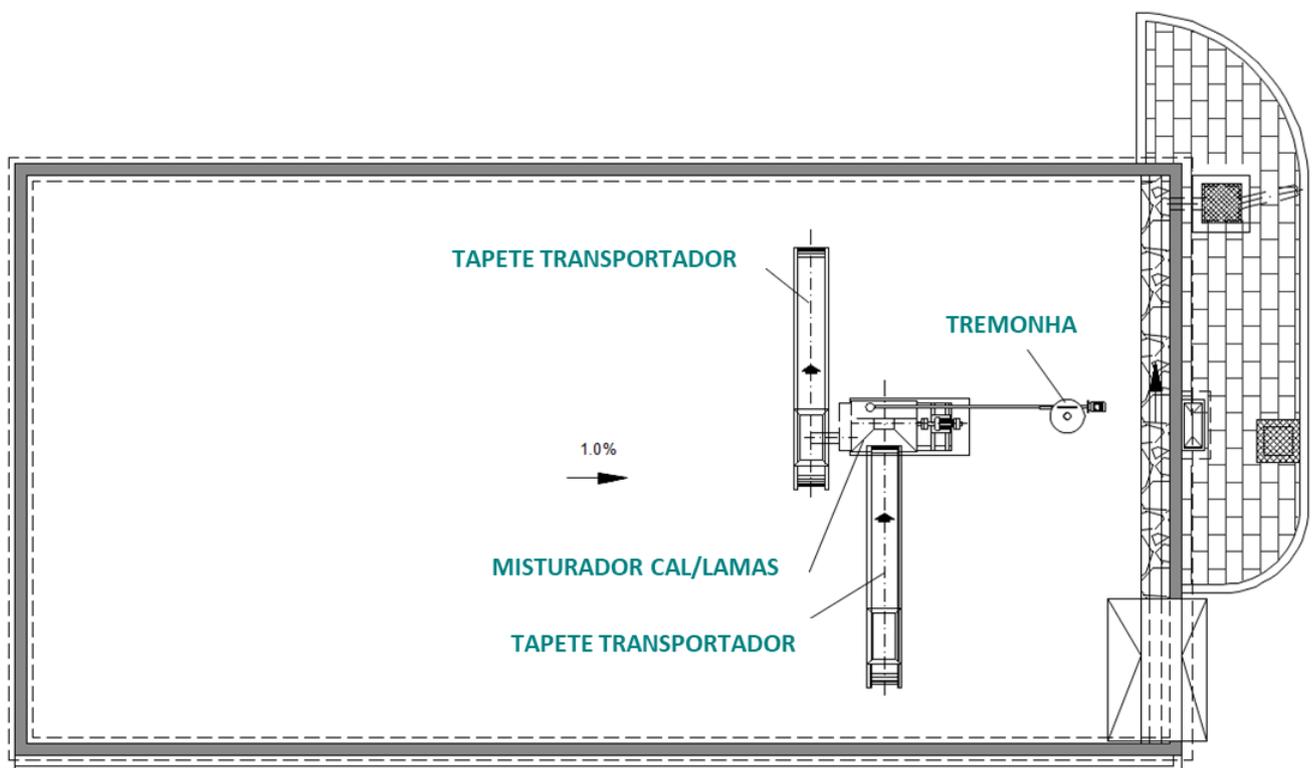


Figura 4.26 – Plataforma de estabilização de lamas

#### 4.7 Exemplo de dimensionamento

Dimensionamento de uma fossa séptica coletiva de 3 compartimentos para 200 habitantes equivalentes, com leitos de macrófitas de escoamento subsuperficial horizontal. Admite-se uma capitação de 100 l/hab.d e um tempo de retenção mínimo de 2 dias.

1. Determinação do caudal médio esperado

$$Q_m = \text{População} \times \text{Capitação} \times f_{af} = 200 \times 100 \times 0.8 = 16000 \frac{l}{d} = 16 m^3/d$$

#### FOSSA SÉPTICA

2. Determinação do volume útil de águas residuais da fossa

$$V_{AR} = \text{Pop} \times \text{Cap} \times f_{af} \times t_r = 16 \times 2 = 32 m^3$$

3. Determinação do volume de lamas digeridas

Admite-se: Capitação de lamas frescas: 0.45 l/hab.d; capitação de lamas digeridas: 0.11 l/hab.d; tempo entre limpezas ( $t_l$ ); 720 d; tempo de digestão das lamas ( $t_d$ ): 60 d.

$$V_{Lm} = \text{Pop} \times \text{Cap}_{Ld} \times (t_l - t_d) = 200 \times \frac{0.11}{1000} \times (720 - 60) = 14.5 m^3$$

4. Determinação do volume de lamas em digestão

$$V_{Ld} = \text{Pop} \times \frac{\text{Cap}_{Lf} + \text{Cap}_{Ld}}{2} \times t_d = 200 \times \frac{0.45 + 0.11}{2} \times 2 \times 0.001 = 0.11 m^3$$

5. Determinação do volume mínimo total da fossa

$$V_t = 32 + 14.5 + 0.11 = 47 m^3$$

6. Determinação das características geométricas da fossa

Relação comprimento/largura admitida: 1:2

Altura útil admitida: 1.5 m

Comprimento admitido: 6m

Largura=6/2=3 m

Espessura da parede divisória (admitido): 0.20 m

Largura real=3-0.20=2.90 m

Largura dos compartimentos menores= 3 m

Volume útil real =  $(6 \times 3 \times 1.5) + 2 \times (3 \times 2.90 \times 1.5) = 53.1 m^3$

## LEITOS DE MACRÓFITAS

Admita-se como características do afluente à Fossa Sética: 700 mg/l de SST e 400 mg/l de CBO<sub>5</sub>, com uma eficiência de remoção na Fossa de 40%. O valor limite de emissão de CBO<sub>5</sub> considera-se 40 mg/l.

7. Determinação da concentração em CBO<sub>5</sub> afluente aos leitos

$$CBO_5 = (1 - 0.40) \times 400 = 240 \text{ mg/l}$$

8. Determinação da constante de temperatura, admitindo uma temperatura média de funcionamento de 15°C.

$$K_t = 1.104 \times 1.06^{15-20} = 0.82$$

9. Determinação da área superficial mínima necessária para remoção da CBO<sub>5</sub>, assumindo uma porosidade do meio filtrante de 0.40 e espessura da camada filtrante de 0.65 m.

$$A_{min} = Q \times \frac{\ln(CBO_a/CBO_e)}{K_t \times e \times n} = 16 \times \frac{\ln\left(\frac{240}{40}\right)}{0.82 \times 0.40 \times 0.65} = 134 \text{ m}^2$$

10. Determinação da área transversal mínima, assumindo 2 leitos e um declive (dH/dC) de 0.01 m/m e condutividade do leito (K) de  $2 \times 10^{-3}$  m/s.

$$A_t = \frac{Q}{n^{\circ} \text{leitos} \times K \times (dH/dC)} = 4.63 \text{ m}^2$$

$$\text{Assim tem-se } C = \frac{4.63}{0.65} = 8m \text{ e } L = \frac{134/2}{8} = 8m.$$

11. Verificação se TRH > 2 dias

$$TRH = \frac{C \times L \times n \times e}{Q} = \frac{8 \times 8 \times 0.40 \times 0.65}{(16/2)} = 2.1 \text{ dias} > 2 \text{ dias}$$

Refira-se que os taludes deverão ter uma inclinação de pelo menos 1:2, pelo que as dimensões superficiais serão superiores que as dimensões no fundo dos leitos.

Nota: Apresenta-se uma implantação tipo desta solução em Anexo (Desenho-Tipo 1)

# 5 ASPETOS CONSTRUTIVOS

## 5.1 Seleção de locais

O custo de um sistema de tratamento para pequenos aglomerados é naturalmente influenciado pelas condições preexistentes do local de implantação e do solo. As recomendações apresentadas no presente capítulo têm também por base algumas considerações presentes em NYSDH (2012), Bartolomeu (1996) e Morais (1962).

Se o sistema tiver de ser localizado em solos marginais ou se for necessário um tratamento melhorado das águas residuais, serão incorridas despesas consideráveis para a construção de uma ETAR. Os locais com condições tais como afloramentos rochosos, nível freático elevado, solos pobres (percolação muito lenta ou muito rápida), restrições no espaço disponível, drenagem pobre ou declives excessivos, podem exigir soluções técnicas mais complexas um custo superior.

Por conseguinte, deve ser realizada uma avaliação do sítio e das características do solo antes da seleção do local a implantar a solução de tratamento. Adicionalmente devem também ser previstas distâncias de separação (*buffers*) entre os componentes do sistema de tratamento de efluentes, e os limites das propriedades, estruturas (existentes ou planeadas), entre outras, para manter o desempenho do sistema, permitir o serviço e reparações, bem como minimizar efeitos indesejáveis da dispersão subterrânea de águas residuais. Estas restrições devem incluir linhas de propriedade, direitos de passagem, servidões, zonas de abastecimento de água, zonas húmidas, linhas de água, edifícios e serviços públicos (Quadro 5.1).

O efluente de um sistema de tratamento de pequenos aglomerados, não obstante o tratamento a que é sujeito, pode conter ainda bactérias

patogénicas, vírus, nutrientes dissolvidos e compostos químicos que podem atingir os aquíferos.

Para minimizar potenciais perigos para a saúde e meio ambiente, as áreas de absorção devem ser localizadas bem acima do nível freático máximo, e o mais longe possível de pontos de captação de água para abastecimento. A identificação precisa dos níveis freáticos sazonais é fundamental para que os sistemas funcionem corretamente durante todo o ano.

Quadro 5.1 – Distâncias mínimas recomendadas para instalação de unidades de tratamento para pequenos aglomerados (adaptado de NYSDH, 2012)

Componente	Distância mínima recomendada (m)		
	Poços ou linhas de água para abastecimento	Meios hídricos superficiais	Habitacões ou limites de propriedade
FS ou ETAR compacta	15	15	3
Sist. de infiltração	50	30	6

No art. 39º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A definem-se as seguintes distâncias para descarga de águas residuais no subsolo (infiltração):

- 20 m de distância vertical do nível máximo do aquífero subjacente.
- 500 m de quaisquer nascentes, poços ou furos utilizados para captação de água.

## 5.2 Avaliação do tipo de solo e nível freático

Os solos apresentam características muito variáveis. A maioria dos solos são misturas de pedras, areia, lodos, argila, e matéria orgânica. Os solos geralmente também contêm microrganismos capazes de decompor a matéria orgânica de ajudar no arejamento do solo.

A natureza do estrato imediatamente sob a camada superior do solo pode afetar o tratamento e transporte das águas residuais. Substratos densos, tais como argila, xisto, argilite ou calcário cimentado restringem o movimento vertical das águas residuais. Substratos rochosos altamente fraturados ou canalizados, subjacentes a perfis de solo pouco profundos, podem facilitar o rápido movimento da água, correndo o eventual risco de contaminação dos meios hídricos (subterrâneos e superficiais) na proximidade.

Deve-se recorrer a furos ou sondagens para determinar: (1) presença/ausência dos substratos subjacentes, (2) níveis freáticos, (3) profundidade até ao leito, (4) tipos de solos e (5) outras características, tais como sistemas radiculares, etc., que podem afetar a conceção e funcionamento dos sistemas.

Caso se opte por sistemas de infiltração, a área necessária de infiltração deve ser determinada a partir de: (a) testes de percolação do solo e (b) direção prevista de dispersão das águas residuais. Para efeitos de conceção e planeamento, deve-se reservar uma área útil adicional de 50% da área de absorção para futura expansão ou reparação da área de absorção. Sempre que possível, recomenda-se que uma área igual a 100% da área de absorção necessária seja reservada para facilitar a substituição total do sistema de absorção.

Para dimensionamento de sistemas de infiltração, deve-se recorrer à determinação da capacidade de percolação do solo, que é facilmente determinada através dos passos descritos de seguida.

## TESTES DE PERCOLAÇÃO

1. Abertura de um buraco com cerca de 30 cm de lado ou de diâmetro. A profundidade dos furos de ensaio deve ser de 60 a 80 cm abaixo ou até à profundidade prevista das valas/poços. No fundo de cada furo coloca-se agregado lavado ou brita de forma a reduzir a ação de lavagem e assoreamento quando a água é vertida no furo.
2. Encher com água o orifício de ensaio periodicamente permitindo que a água se infiltre, de forma a simular a saturação do solo em situações normais. Este procedimento deve ser realizado durante pelo menos 4 horas e deve começar um dia antes do teste, exceto em areia e cascalho limpos e grosseiros. Depois de a água do ensaio final se ter infiltrado, remover qualquer detrito que se tenha soltado.
3. Verter água limpa no orifício, com o mínimo de salpicos possível, a uma profundidade de 15 cm polegadas acima do fundo.
4. Contar e registar o tempo (em minutos) necessário para a água descer 2.5 cm.
5. Repetir o teste um mínimo de três vezes, até que o tempo para a água descer 2.5 cm entre 2 ensaios sucessivos seja aproximadamente igual.



O tempo registado deverá servir de base para a estimativa de capacidade de percolação do solo, em termos de min/cm. Esta servirá de referência para a determinação da área necessária para infiltrar o caudal médio estimado.

### 5.3 Materiais e técnicas construtivas

#### 5.3.1 Construção *in situ*

##### FOSSAS SÉPTICAS

Em regra, tratando-se de fossas sépticas coletivas, recomenda-se que se utilizem fossas até 3 compartimentos.

Segundo Morais (1977), nas fossas de 2 compartimentos, a capacidade do primeiro deve ser pelo menos o dobro da capacidade do segundo compartimento. Nas de 3 compartimentos, o primeiro compartimento deve ter um volume igual a metade do volume total, enquanto o segundo e terceiro compartimentos poderão ser iguais, com uma capacidade unitária de 1/4 da capacidade total.

A ligação entre compartimentos deve ser feita por meio de “tês” duplos ou aberturas retangulares

executadas nas paredes divisórias, que se devem prolongar 0,40 m acima da superfície livre do líquido e deixar um espaço de, pelo menos, 0,05 m entre os topos e o teto por forma a permitir a ventilação. A superfície livre deve estar 0,05 a 0,10 m abaixo da cota de soleira do coletor afluente.

Devem também ser previstos septos à entrada e à saída, parcialmente imersos e emergindo pelo menos 0,20 m acima da superfície livre do líquido.

Na Figura 5.1 e Figura 5.2 apresentam-se, esquematicamente, plantas e cortes de uma fossa séptica de dois e de três compartimentos, respetivamente.

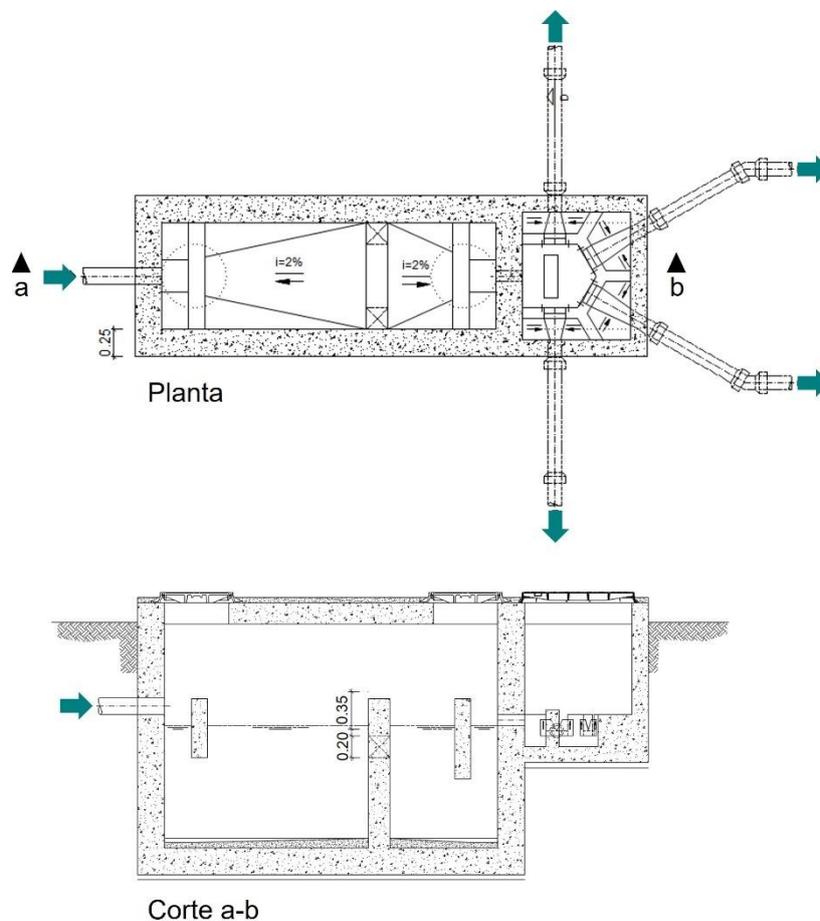


Figura 5.1 - Representação esquemática de uma fossa séptica com 2 compartimentos: planta e corte

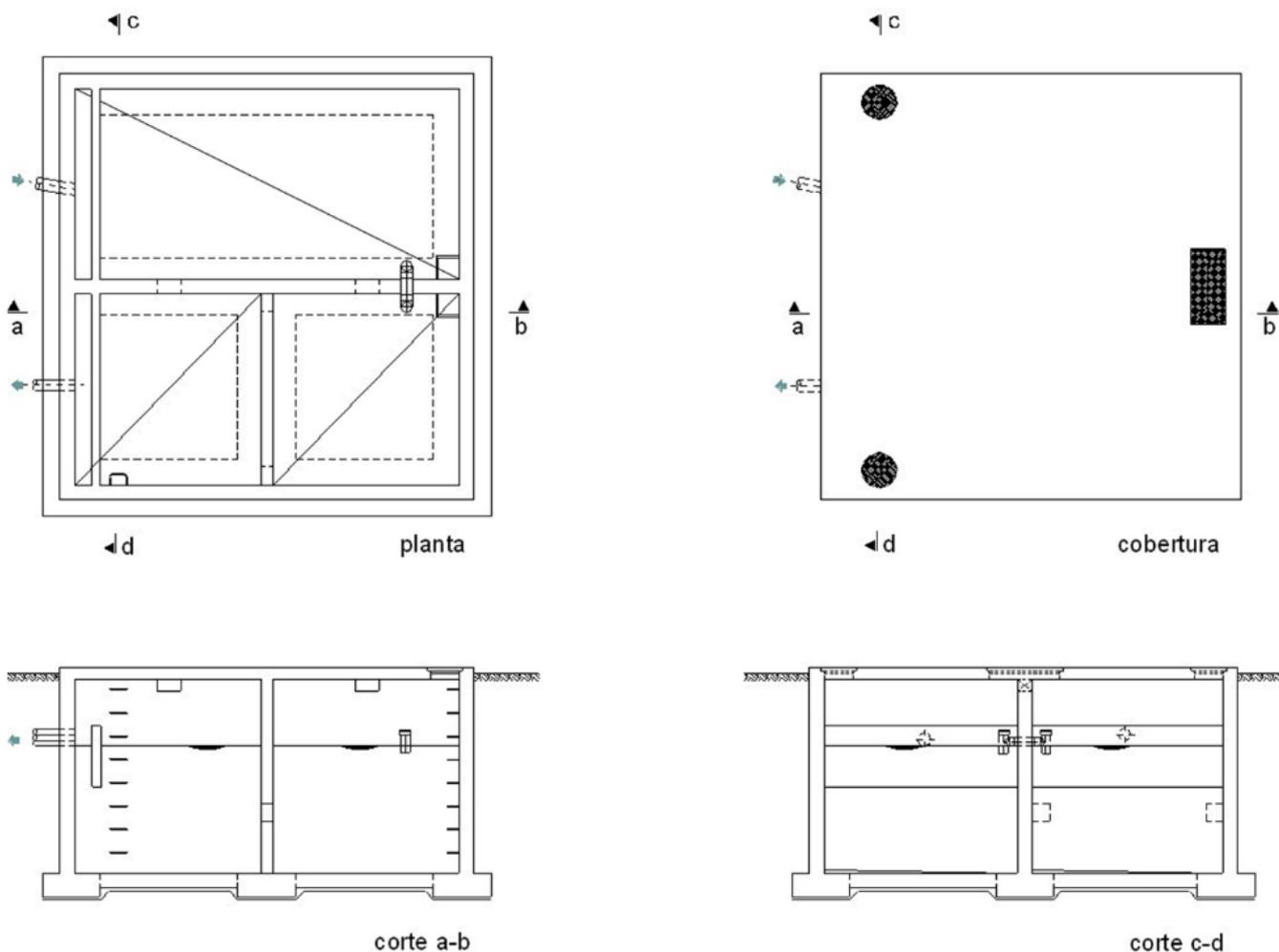


Figura 5.2 - Representação esquemática de uma fossa séptica com 3 compartimentos: plantas e cortes

As fossas devem dispor de aberturas (uma por compartimento) para efeito de controlo, entrada para reparação e descarga de lamas. As aberturas podem ser retangulares ou circulares, com a dimensão mínima de 0.60 m. Nas fossas de apenas um compartimento, poderá prever-se uma abertura menor, de cerca de 0.40 m. As tampas devem ser preferencialmente de ferro fundido.

O fundo das fossas deverá ser plano, embora nas fossas de maiores dimensões se deva prever uma ligeira inclinação do fundo na direção das aberturas, de cerca de 2%, para facilitar a recolha das lamas.

As paredes deverão ser de betão armado, sendo que a estrutura resistente deverá ser calculada,

tendo em atenção a natureza e valor das cargas atuantes. A espessura das paredes não deverá ser inferior a 0.10 m (Morais, 1977). A laje de cobertura deverá ficar ligeiramente acima da cota de terreno (cerca de 0.20 m, para facilitar o acesso e impedir entrada de água pluvial pelas tampas).

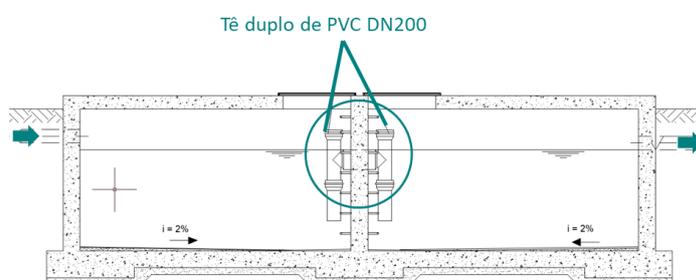


Figura 5.3 – Pormenor de ligação em Tê entre compartimentos de fossa

## TANQUE IMHOFF

Para aglomerados populacionais de pequenas dimensões, o tanque Imhoff pode ser circular, constituído por um primeiro compartimento superior que funciona como decantador primário e um segundo compartimento que funciona como digestor anaeróbio das lamias.

O decantador deve ser constituído por duas paredes verticais superiores que delimitam um prisma retangular, e duas paredes de fundo, inclinadas a  $55^\circ$  e separadas por uma fenda estreita, que permite a passagem de lamias do decantador para o digestor. Um dos bordos das paredes de fundo deve sobrepor-se ligeiramente ao outro para evitar a reentrada de flocos de lamias arrastadas ascensionalmente pela liberação de gases provenientes da digestão. A câmara de

decação deve dispor de dois deflectores, à entrada e à saída, para se garantir a tranquilização do escoamento. O digestor anaeróbio deve ser constituído por uma zona superior cilíndrica e uma zona inferior cónica, inclinada a  $30^\circ$  para o centro.

Para as tubagens de entrada e de saída do tanque Imhoff adotam-se, em regra, diâmetros de 110 mm ou de 200 mm, em PVC. A tubagem de extração das lamias digeridas, igualmente em PVC ou ferro fundido, deve apresentar um diâmetro de 150 mm.

Na Figura 5.4 é representada, de forma esquemática, a planta e cortes de um tanque Imhoff.

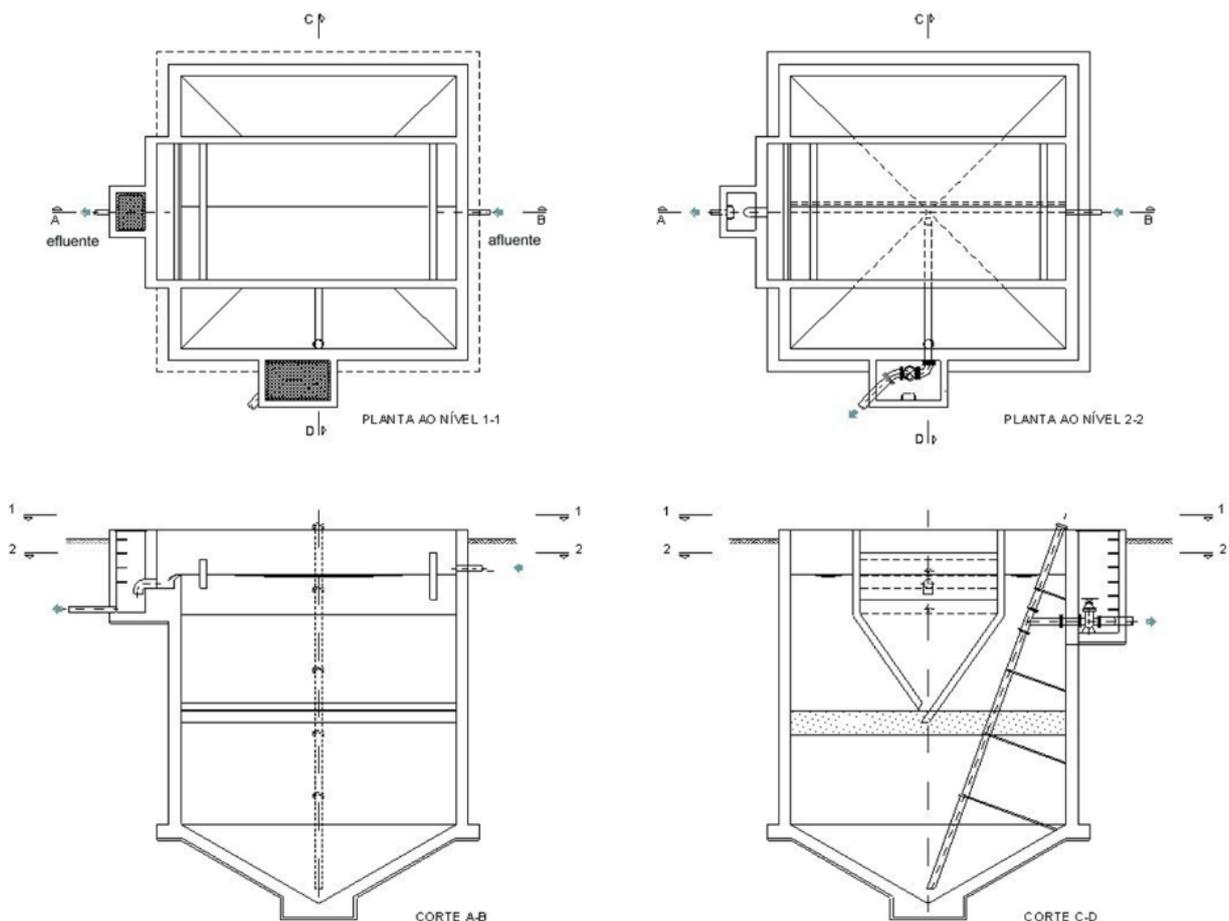


Figura 5.4 - Representação esquemática de tanque Imhoff: plantas e cortes

## LEITOS DE MACRÓFITAS

A secção transversal de um leito de macrófitas de fluxo horizontal sub-superficial é constituída por uma base de gravilha com cerca de 20 cm de espessura, a que se sobrepõe uma camada de areão grosso com 30 a 40 cm de espessura e finalmente uma cobertura com terra arável com cerca de 10 cm de espessura. É particularmente importante assegurar a impermeabilização do fundo, por exemplo recorrendo à colocação de geomembranas, por forma a garantir a proteção das águas subterrâneas de eventual contaminação.

A inclinação longitudinal da base do leito pode variar, em geral, entre 1 e 5 %. A configuração do leito pode ser variável por forma a adaptar-se à configuração do terreno disponível. Para uma dada área, é a forma quadrada que conduz a menores riscos, do ponto de vista de encharcamento (dada ser menor a extensão de percolação). No entanto, atendendo à necessidade de garantir a distribuição homogénea do afluente pela largura do leito recomenda-se, em regra, que se adotem relações comprimento/largura de 1.5/1 a 2/1.

Para população servida igual ou superior a 300 a 400 habitantes, recomenda-se a construção de mais de um leito de macrófitas, em paralelo, sobretudo se a configuração do terreno disponível o recomendar.

Devem ainda ser asseguradas condições de autolimpeza ( $Q > 0.6$  m/s) nos difusores que promovem a distribuição de caudal pelos leitos de macrófitas, à entrada dos leitos.

A fim de aumentar a eficiência de tratamento dos leitos de macrófitas e de tirar o máximo partido das características das plantas, recomenda-se, por vezes, que se proceda à plantação de mais de uma espécie de plantas emergentes. A densidade de plantação pode ser de cerca de 10 a 20 plantas por metro quadrado.

As macrófitas são geralmente plantadas após um ciclo completo de crescimento, pelo que é melhor colocar as macrófitas um ano após a plantação das sementes.

## POÇOS DE INFILTRAÇÃO

No que se refere aos poços absorventes, é sempre recomendável a construção de mais que um poço pois pode dar-se a sua colmatação. Em regra, segundo Tilley *et al.* (2014), um poço de infiltração deverá apresentar um bom funcionamento durante 3 a 5 anos; após este período é possível que o material filtrante existente já se encontre colmatado, impedindo o correto tratamento do efluente.

A base da camada drenante de fundo deverá estar a uma distância superior às distâncias regulamentares de qualquer ponto de captação de água e do nível freático (definidas no Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A).

O diâmetro dos poços absorventes deve estar entre 1 e 3 m e o espaçamento entre poços deverá ser triplo do diâmetro do maior poço e com o mínimo de 5.5 m para poços com profundidade superior a 6 m (Morais, 1962), embora tipicamente a profundidade dos poços não deva ser superior a 4 m.

O poço deve ter as suas paredes revestidas de alvenaria com juntas abertas, envolta numa camada de material drenante. A parte superior dos poços deve ser impermeável e constituída por um material resistente como anéis pré-fabricados de betão ou uma zona mais resistente em que as juntas são cimentadas. O material drenante deverá ser constituído por uma camada de brita, godo ou escórias com 2 a 5 cm de diâmetro e com espessura superior a 15 cm, que no caso de terrenos pouco permeáveis esta camada pode chegar aos 60cm. O fundo do poço também deve ser assente sobre uma camada deste material, com uma espessura entre 0.40 e 0.60 m.



Figura 5.5 – Imagens de poços de infiltração (Grupo MT, pozosdeabsorcion)

### TRINCHEIRAS DE INFILTRAÇÃO

No que se refere às trincheiras de infiltração, estas consistem em valas no terreno, de secção retangular ou trapezoidal, onde é instalada uma tubagem com juntas abertas e envolta em material drenante, como brita ou escórias com diâmetro entre os 2 e 5 cm, para fazer a distribuição do efluente ao longo do terreno.

Sobre a camada drenante deverá ser feito um aterro com o material retirado da vala, caso este tenha as propriedades de permeabilidade necessárias. Estas duas camadas devem estar separadas por uma camada de geotêxtil, evitando-se que a passagem de finos do terreno colmate a camada filtrante que envolve a tubagem.

Não devem existir árvores ou outra vegetação sobre as trincheiras de forma a permitir o acesso às tubagens caso seja necessário proceder ao seu desentupimento ou substituição (Tilley *et al.*, 2014). As trincheiras de infiltração devem estar a um mínimo de 30 m de qualquer fonte de água e a 3,5 m do nível freático (Franceys *et al.*, 1992), tendo em conta a legislação regional em vigor. As tubagens de ligação entre órgãos por norma aproximam-se dos 110 mm de diâmetro.

### ATERROS FILTRANTES

A camada filtrante é, usualmente, constituída por areia grossa lavada, com diâmetro de 1,0 a 1,5 mm (Bartolomeu, 1996), que pode ser misturada com 15% de gravilha. As tubagens de distribuição do

efluente devem ter um declive de 0,3% e um diâmetro não superior a 100 mm. Estas tubagens devem estar envoltas numa camada de material drenante com 20 a 30 cm de espessura e 2 a 5 cm de diâmetro, por exemplo brita.

### LEITOS DE SECAGEM DE LAMAS

Os leitos de secagem de lamas são tanques retangulares (em número igual ou superior a dois), constituídos, em regra, por uma camada de brita de 40 a 70 mm, de 0.50 m de espessura, colocada no fundo dos leitos, à qual se sobrepõe uma camada de 0.10 m de espessura, de areão uniforme de 3 a 10 mm. As lamas digeridas afluem aos leitos de secagem através de uma conduta sob pressão, comandada por válvulas de seccionamento localizadas junto de uma das paredes dos leitos. A zona onde são lançadas as lamas pode ser protegida contra a erosão por uma lajeta de betão simples.

As escorrências são recolhidas num sistema de drenagem em manilha perfurada (i.e. por exemplo de PVC, DN 150 mm), localizado no fundo dos leitos (que deve ser ligeiramente inclinado, com pendente de 1 a 2%, para garantir a drenagem do caudal infiltrado), sendo em regra reconduzidas para a obra de entrada da ETAR. Para as tubagens de entrada de lamas e de saída de escorrências pode ser adotado o diâmetro de 150 mm, em PVC. Os leitos devem ser projetados de forma a serem completamente acessíveis pelos veículos de recolha de lamas. Na Figura 5.6 apresentam-se,

esquemáticamente, a planta e cortes de leitos de secagem de lamas.

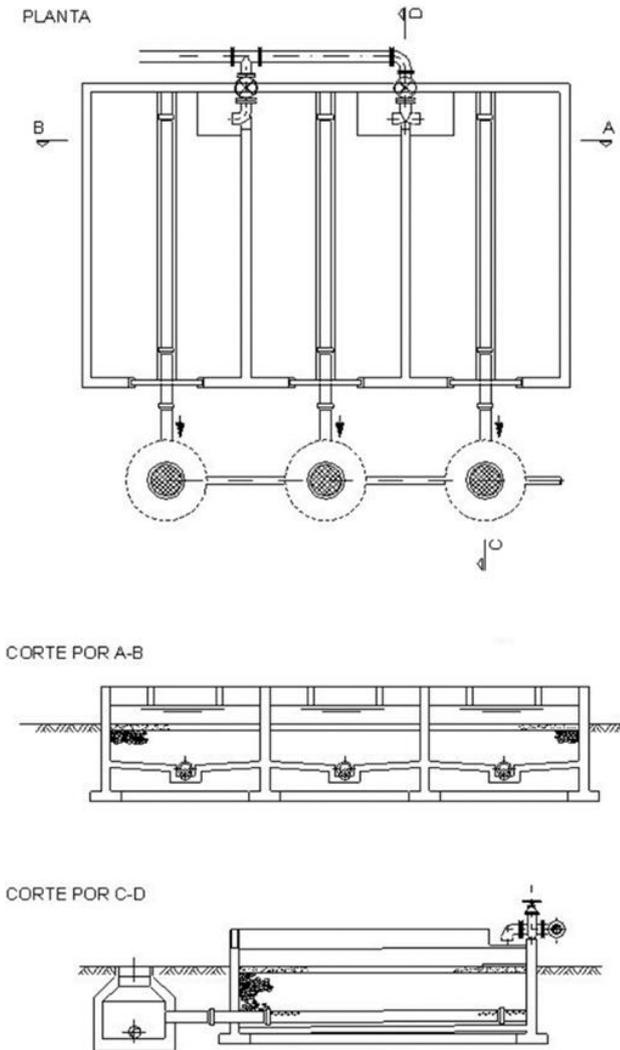


Figura 5.6 - Planta e cortes esquemáticos de leitos de secagem de lamas

## LEITOS DE SECAGEM PLANTADOS

Em termos práticos, são recomendados os seguintes princípios ou requisitos para os leitos de secagem de lamas plantados:

- Consideração de vários leitos para alimentação alternada.
- As paredes devem ter um bordo livre elevado (aprox. 1.5 -2 m) para armazenar a lama durante um período de 10 anos. Considera-se recomendado um período de operação de cerca de 10 anos (incluindo um período de adaptação de 2 anos).
- No fundo do leito, deve-se prever um sistema de tubos de drenagem, colocado numa camada de gravilha grossa. As tubagens de drenagem são ventiladas para a atmosfera para assegurar a transferência de oxigénio.

No topo da camada de drenagem, coloca-se uma a três camadas de textura mais fina de cascalho, areia ou solo para filtrar as escorrências. A camada superior, chamada "camada de crescimento" é plantada com as macrófitas emergentes. A lama é normalmente carregada na superfície dos leitos através de tubagens com linhas de alimentação enterradas na camada de drenagem.

- Um ciclo de por exemplo 4 anos para proceder ao esvaziamento de todos os leitos. A capacidade de tratamento da instalação deve ser mantida enquanto cada leito é esvaziado alternadamente, e posteriormente restabelecido o seu funcionamento.
- Restabelecimento da vegetação depois do esvaziamento sem plantar.

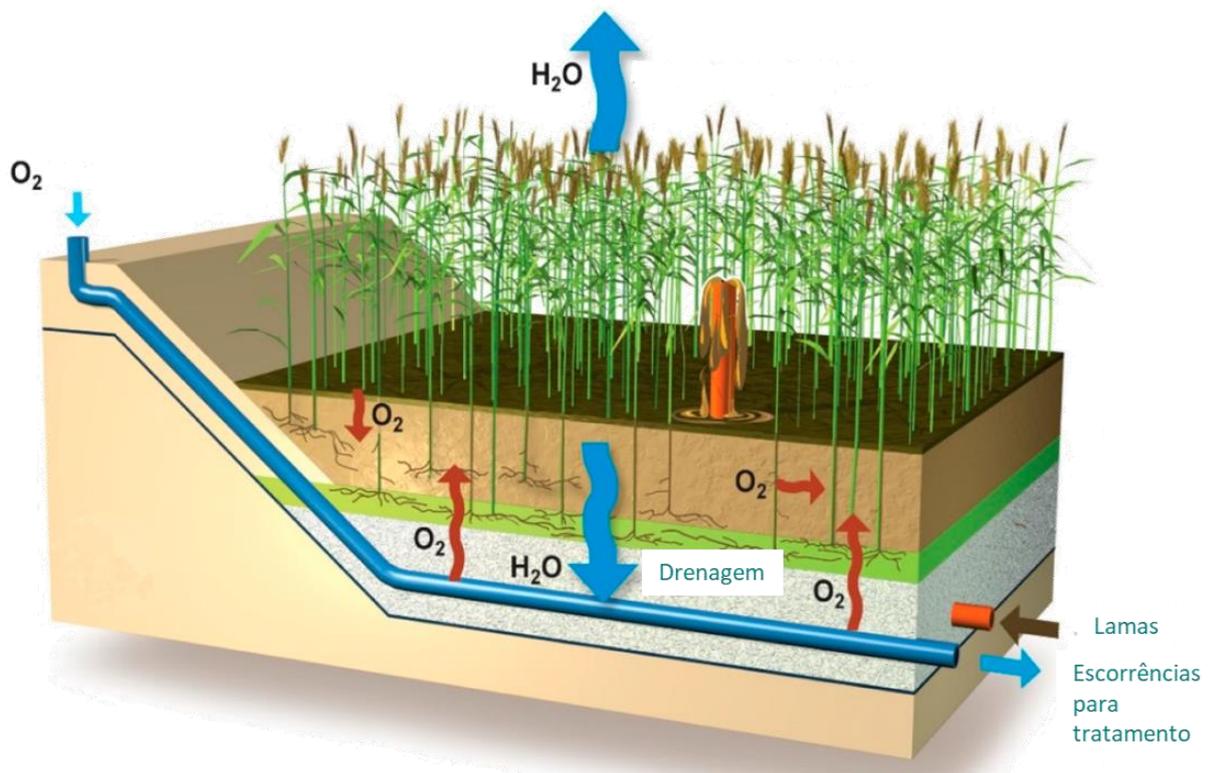


Figura 5.7 – Esquema de leito de secagem plantado (adaptado de Nielsen e Stefanakis, 2020)

### 5.3.2 Soluções compactas

Dada a gama alargada de soluções do tipo compacto disponíveis no mercado, a implantação dos módulos, ligação à obra de entrada e ligação às câmaras de visita de recolha de efluente tratado deverão ser adaptadas ao equipamento selecionado pelo Empreiteiro e aprovado pelo Dono de Obra.

A implantação da solução compacta deve ter em consideração os seguintes fatores:

- Permitir o acesso regular de veículos para a remoção periódica de lamas e operações de manutenção.
- Cumprir critérios de distância mínima a habitações, linhas de água ou infraestruturas.

Posicionamento que permita afluência gravítica dos efluentes a tratar, bem como a sua saída e ligação ao meio recetor ou mecanismo de disposição final.

- Uma vez que as unidades compactas necessitam de arejamento para o tratamento biológico, há que garantir a possibilidade de ligação à rede de energia elétrica.
- A profundidade das tubagens de ligação e de saída da unidade determinam a profundidade de escavação para colocação da ETAR compacta. De forma a monitorizar a qualidade do efluente final, deve-se prever uma caixa acessível que permita acesso para operações de monitorização e inspeção.



Figura 5.8 – Instalação de aterro filtrante a jusante de um sistema de tratamento compacto (Crédito: US EPA).

# 6 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

## 6.1 Controlo Operacional

A eficiente gestão e operação de sistemas de tratamento, nas suas vertentes económicas, técnica e ambiental, envolve um conjunto de ações e valências entre as quais se destacam as atividades de operação e manutenção, das quais depende o correto funcionamento dos sistemas. Numa ETAR, as atividades de operação e manutenção visam, sobretudo, atingir os seguintes objetivos específicos:

- Garantir que o sistema esteja apto a funcionar ao longo do horizonte de projeto em conformidade com os requisitos de desempenho estabelecidos;
- Operar corretamente os órgãos de tratamento garantindo que o funcionamento do sistema se faz em condições de segurança, sem impactes ambientais indesejáveis, e de forma economicamente viável;
- Garantir que, na medida do possível, uma avaria numa parte do sistema não afete o desempenho das restantes;
- Aferir regularmente as variáveis de exploração, controlar a qualidade do efluente final e determinar as eficiências de tratamento.
- Garantir que o tratamento decorre em conformidade com os requisitos de desempenho estabelecidos.

Genericamente, a operação do sistema integra as diferentes tarefas necessário para a correta gestão do funcionamento da ETAR, através da monitorização dos parâmetros que permitem aferir o desempenho dos processos de tratamento, em termos de eficiências. É também importante a recolha de dados operacionais que permitam

calcular as variáveis hidráulicas (como cargas hidráulicas, tempos de retenção, cargas de sólidos, carga volúmica ou idade das lamas), bem como apurar os consumos de energia e de reagentes, se aplicável, e a produção de lamas. Relativamente às lamas, estas deverão ser apreciadas em termos da sua sicissidade, tempo de secagem e grau de estabilização. Caso se preveja a sua valorização agrícola, será igualmente relevante proceder à avaliação das concentrações de nutrientes (azoto e fósforo) e metais pesados.

A manutenção define-se como o conjunto de operações de rotina destinadas a assegurar o correto funcionamento dos equipamentos e infraestruturas, para que o sistema apresente a eficácia desejada, em termos de cumprimento dos requisitos impostos pela legislação em vigor.

Os critérios e princípios apresentados de seguida baseiam-se em ANAS (2018), Hornsby (2006), Levy *et al.* (1991), SANEPAR (2018), USACE (1999), Vogel (2005) e WSP (2008).

Globalmente, podem ser identificados dois tipos de manutenção:

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA** – É uma ação de manutenção organizada e executada com premeditação e controle, recorrendo à utilização de registos, cumprindo um plano pré-definido, delineado para evitar falhas nos equipamentos que resultem na interrupção do processo de tratamento. Inclui atividades preventivas sistemáticas, (manutenção preventiva executada com periodicidade em intervalos pré-determinados), e atividades condicionadas

(manutenção preventiva resultante do conhecimento da condição do equipamento, por monitorização permanente ou de rotina).

**MANUTENÇÃO REATIVA** – É a manutenção executada sem qualquer premeditação ou plano pré-definido, realizada quando ocorre uma falha, estando frequentemente associada à interrupção do funcionamento da ETAR, com consequências em termos económicos e ambientais. Tem como objetivo a reposição de condições de

#### Atividades de manutenção preventiva

- Inspeção diária da forma de funcionamento dos órgãos da ETAR e do equipamento eletromecânico (velocidades de rotação, níveis de ruído, aquecimento e vibrações)
- Verificação diária dos sinalizadores luminosos dos Quadros Elétricos.
- Verificação do funcionamento dos automatismos.
- Troca de máquinas, pondo em serviço as de reserva para repartir o tempo de serviço de todas as máquinas de acordo com os critérios que forem estabelecidos.
- Decapagem, metalização e/ou pintura protetora de elementos metálicos, com a periodicidade que o estado de conservação exigir.
- Arranjo e conservação dos espaços verdes, tais como rega, corte de relva, sebes e arbustos, controle de ervas infestantes e outros.
- Manutenção das redes e equipamentos de abastecimento de água e de energia elétrica existentes nas instalações.
- Limpeza dos arruamentos, passeios e áreas envolventes das infraestruturas.

funcionamento dos diversos componentes do sistema.

Nestas circunstâncias, é determinante que as atividades sejam efetuadas com a maior rapidez possível, assegurando um tempo de reparação rápido e minimizando os prejuízos sofridos, através de pessoal qualificado e garantia de manutenção em armazém, em boas condições de acondicionamento, um número básico de peças e acessórios em função das quantidades instaladas, considerado como mínimo de segurança.

Em termos gerais, as atividades de manutenção devem incluir as seguintes tarefas específicas:

- **Vigiar** – deve proceder-se à observação sistemática dos vários órgãos das instalações, a nível eletromecânico, elétrico e de construção civil. Adicionalmente, devem ser verificadas situações anómalas sobretudo através de um exame sensorial, designadamente empenos, ruídos ou aquecimentos excessivos. Esta observação pode prevenir situações graves quando ocorra uma avaria em qualquer instrumento de comando ou controlo.
- **Limpar** - O estado de limpeza de qualquer instalação é sempre a primeira referência do seu estado. A operação e limpeza de cada órgão, incluindo a remoção de gradados, areias e lamas desidratadas, e o ajardinamento da instalação devem ser considerados.
- **Conservar** - Inclui, de modo geral, todos os procedimentos e cuidados que visam prolongar o mais possível a vida útil dos equipamentos, em perfeitas condições de utilização. Destacam-se, no aplicável, as tarefas de lubrificação dos equipamentos eletromecânicos e de manutenção dos quadros elétricos.
- **Reparar** – esta ação excede o âmbito da conservação. Durante o período de garantia dos equipamentos, e desde que todas as operações de condução e manutenção tenham sido respeitadas, qualquer reparação específica deverá ser solicitada ao respetivo fornecedor. Após a Receção Definitiva,

competirá ao serviço de manutenção resolver a maior parte dos problemas que eventualmente surjam, pelo que se deverá dispor de ferramentas necessárias para o efeito e manter em stock as peças e acessórios previsivelmente sujeitos a maior desgaste.

- **Controlar** – o controlo analítico dos sistemas de tratamento é fundamental, incluindo a realização de ensaios expeditos, a recolha de amostras para análises laboratoriais, o registo de consumos de reagentes, entre outros.

As atividades de reabilitação (para recuperação de eficiências) e de ampliação (para recuperação de capacidade) poderão também ser necessárias. Uma instalação de tratamento deve sempre dispor de manuais de operação, manutenção e monitorização, que identifiquem todos os procedimentos a seguir, bem como a sua periodicidade, e que defina claramente as responsabilidades de cada envolvido.

Todas as observações e detalhes das operações devem ser registadas, organizadas e mantidas, de forma a garantir a obtenção de um histórico de operação das instalações.

A gestão das operações deve igualmente incluir toda a informação necessária ao controlo do risco, garantir o fornecimento do equipamento de proteção individual (EPI), bem como os procedimentos e contactos de emergência.



## MONITORIZAÇÃO

O Decreto-Lei 152/97, de 19 de junho estabelece frequências mínimas de amostragem para estações de tratamento de águas residuais de população total equivalente superior a 2 000, excluindo assim os sistemas de tratamento de pequenos aglomerados. Nesse caso, deve ser estabelecido um sistema de monitorização e controlo interno, que permita aferir o funcionamento e eficiência do tratamento preconizado. Recomenda-se o controlo analítico por amostragem composta. A recolha de amostras compostas pode ser realizada automática ou manualmente, usualmente em intervalos de uma a três horas.

Caso se trate de águas residuais urbanas sem contribuições industriais, considera-se que os parâmetros relevantes a monitorizar referem-se sobretudo a CQO, CBO<sub>5</sub> e SST. Parâmetros adicionais como o pH, temperatura e oxigénio dissolvido (OD) podem igualmente ser medido *in-*

*situ*, com recurso a sondas portáteis devidamente calibradas.

No entanto, caso se pretenda a reutilização dos subprodutos, importa a monitorização de parâmetros adicionais, que permitam garantir a ausência de risco para a saúde pública e meio ambiente. No que se refere à fase líquida, devem ser monitorizados parâmetros microbiológicos (designadamente *E. coli* e ovos de helmintos) e parâmetros agronómicos (condutividade elétrica, metais pesados, entre outros).

Para as lamas a reutilizar na agricultura, há que monitorizar os parâmetros definidos no Decreto-Lei 276/2009, de 2 de outubro, e Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A, e que se referem a parâmetros agronómicos, metais pesados e microrganismos patogénicos (conforme detalhado no Capítulo 7.)



## 6.2 Operação e manutenção de fossas séticas

### BOAS PRÁTICAS

De forma a assegurar um funcionamento apropriado das fossas séticas, deverão ser reduzidos, dentro do possível, os caudais afluentes ao sistema de drenagem e tratamento. Isto poderá ser conseguido através da correção de ligações indevidas, minimizando a afluência de caudais pluviais, através da instalação de dispositivos domésticos de poupança de água (torneiras e cabeças de chuveiro de baixo débito e autoclismos eficientes) e, finalmente, através da sensibilização da população.

Os utilizadores das fossas séticas deverão ter o cuidado de não enviar para esta infraestrutura elementos que difícil biodegradabilidade, como algodão, produtos de higiene, preservativos, medicação, fraldas descartáveis, areias, gorduras e óleos alimentares, fio dentário, cigarros, plásticos e restos de comida. Idealmente, a montante das fossas deve ser construída uma obra de entrada, munida de gradagem grosseira e separador de gorduras, que devem ser limpas com uma periodicidade, no mínimo, mensal. Os sólidos removidos poderão ser depositados nos contentores de lixo comum.

A localização das fossas séticas deverá estar identificada (por exemplo, marcando a sua posição com estacas permanentes) e não deverá ser construída qualquer infraestrutura sobre este sistema de tratamento. A circulação de tráfego automóvel sobre a estrutura em betão armado, bem como na zona de disposição final, deve ser interdita, para evitar a ocorrência de danos estruturais. Adicionalmente, é importante assegurar o fácil acesso à fossa sética, preferencialmente compatível com a aproximação de um camião limpa-fossas.

A fim de evitar a proliferação de mosquitos, todas as aberturas de respiração/ventilação deverão ser protegidas com redes apropriadas e todas as tampas de acesso deverão ser seladas adequadamente.

No caso de sistemas de fossa sética que integrem sistemas de disposição final por infiltração, a sua área de implantação deverá ser inspecionada regularmente e a vegetação deverá ser mantida, garantindo-se o corte e limpeza regular (apenas deverá ser plantada relva ou vegetação rasteira, uma vez que as raízes de árvores poderão danificar a infraestrutura).

No caso de sistemas de fossas séticas de utilização individual, deve atender-se aos seguintes aspetos, usualmente indicadores de um mau funcionamento:

- os acessórios de casa de banho ou restantes dispositivos domésticos escoam lentamente ou encontram-se obstruídos (neste caso, o tanque recetor poderá estar completamente cheio);
- ocorre a libertação de odores ofensivos, perceptível nas imediações da fossa;
- verifica-se o crescimento anormalmente elevado de ervas nas imediações ou a jusante da zona de infiltração;
- o solo envolvente do sistema torna-se húmido ou verifica-se a acumulação de efluente à superfície.

### PROCEDIMENTOS RECOMENDADOS

As fossas séticas individuais devem ser objeto de manutenção pela entidade gestora ou pela entidade (pública ou privada) a quem esta delegou o serviço, após solicitação do utilizador. A limpeza deve seguir procedimentos adequados, tendo nomeadamente em conta a necessidade de recolha periódica e de dar um destino final adequado às lamas.

Cada sistema de fossa sética deverá ser documentado, mantendo-se um registo das operações de limpeza planeadas e efetuadas, bem como de todas as intervenções de manutenção e reparação ao longo da sua vida útil. Os procedimentos de manutenção, que devem ser implementados com uma periodicidade tipicamente anual, são descritos em detalhe nos parágrafos seguintes.

## Verificação do nível de efluente, das lamas e escumas

Anualmente, deverá verificar-se o nível do efluente no interior da fossa, que não deverá ser superior à tubagem de saída (Figura 6.1). Para a verificação do nível poderá utilizar-se uma vara de metal ou plástico, com cerca de 4 m de comprimento, coberta com tecido de forma a criar marcações dos diferentes estratos da fossa.



Figura 6.1 – Verificação do nível do efluente no interior de uma fossa séptica.

Utilizando o equipamento de segurança adequado, remove-se a tampa de acesso do lado de montante e insere-se a vara até ao fundo do tanque. Após remoção da vareta, deverá ser possível observar os níveis das lamas do fundo e das escumas à superfície. O resultado da inspeção deverá corresponder a uma das situações de diagnóstico apresentadas na Figura 6.2, devendo agir-se em conformidade, tal como indicado na figura.

Sem retirar as luvas de proteção, remove-se o tecido utilizado, podendo este ser queimado ou colocado no lixo doméstico. A vara deverá ser lavada e exposta à luz solar durante alguns dias. As luvas poderão ser lavadas com lixívia diluída.

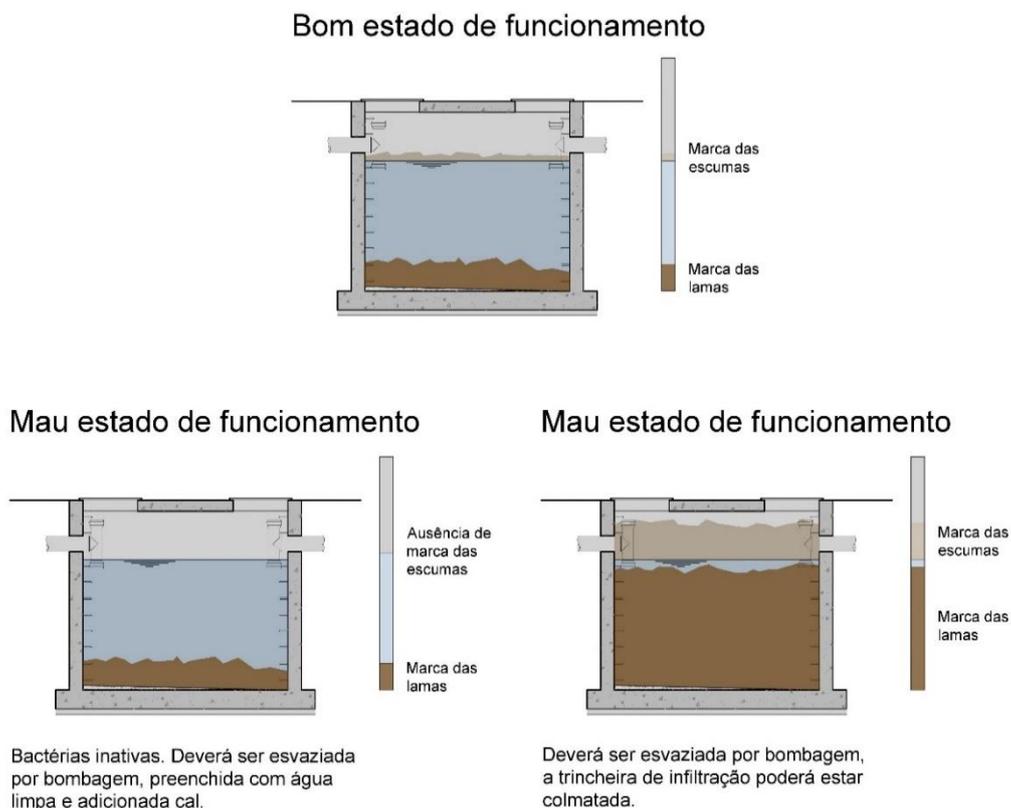


Figura 6.2 - Diagnóstico do funcionamento de fossas sépticas (ANAS, 2018)

## Limpeza periódica

A acumulação excessiva de lamas nas fossas sépticas condiciona a eficiência do tratamento, podendo ainda obstruir os equipamentos de jusante, como poços ou trincheiras de infiltração, caso existam (o que resultará na acumulação de efluente à superfície, com o correspondente risco para a saúde pública e prejuízo ambiental). Tipicamente a limpeza das fossas deverá ocorrer em intervalos de 3 a 5 anos, dependendo do seu volume e número de utilizadores. No Quadro 6.1 apresenta-se uma estimativa da periodicidade de limpeza de fossas sépticas em função do seu volume e dimensão do agregado familiar.

Quadro 6.1 - Estimativa da frequência de limpeza de fossas sépticas, em anos (Vogel, 2005)

Volume da FS (m <sup>3</sup> )	Dimensão do agregado (habitantes)					
	1	2	3	4	5	6
2	5.8	2.6	1.3	1.0	0.7	0.4
3	9.1	4.2	2.6	1.8	1.3	1.0
4	11.0	5.2	3.3	2.3	1.7	1.3
5	15.6	7.5	4.8	3.4	2.6	2.0
6	18.9	9.1	5.9	4.2	3.3	2.6
7	22.1	10.7	6.9	5.0	3.9	3.1
8	25.4	12.4	8.0	5.9	4.5	3.7
9	28.6	14.0	9.1	6.7	5.2	4.2
10	31.9	15.6	10.2	7.5	5.9	4.8

Assim, deverá prever-se a limpeza das fossas, com remoção das lamas acumuladas no fundo, sempre que necessário (em função do resultado da verificação do nível do efluente, lamas e escumas no interior da fossa). Para este efeito deverá ser contratado um camião limpa-fossas (Figura 6.3) equipado com um sistema de aspiração e devidamente licenciado.

Refere-se que, em cada limpeza, as lamas não devem ser removidas totalmente, deixando-se uma pequena quantidade no fundo, de forma a permitir a continuidade do processo biológico. A aspiração por bombagem das lamas deverá ser efetuada de

forma rápida e cuidadosa, sem que ocorra o contacto do operador com os resíduos removidos. Esta operação deverá ser executada num período em que não se preveja elevadas afluências ao sistema.

No caso de se verificar que as lamas estão demasiado duras para aspiração, poderá ser adicionada água, devendo ser utilizado um agitador adequado. Após a operação de manutenção, deverá proceder-se a uma rigorosa limpeza da área envolvente, bem como de todos os equipamentos utilizados.

As lamas removidas devem ser conduzidas a uma ETAR que disponha de tratamento adequado para lamas, de forma a assegurar a sua desidratação e estabilização.



Figura 6.3 – Descarga de camião limpa fossas na obra de entrada de uma ETAR (Strande *et al.*, 2014)

### Aspetos de segurança

- Qualquer operação de inspeção ou manutenção deverá ser precedida por um período de ventilação da fossa com as tampas abertas. O operador deverá abster-se de fumar, ou de aproximar uma chama viva das aberturas.
- Deverão ser utilizadas luvas, procedendo-se à lavagem das mãos imediatamente após a intervenção.
- Qualquer operação que implique a abertura da fossa séptica deverá ser efetuada com a presença de duas pessoas.

### 6.3 Operação e manutenção de leitos de macrófitas

A questão operacional mais crítica para leitos de macrófitas é a colmatção do meio. Isto ocorre quando os espaços porosos nos meios filtrantes são preenchidos com sólidos (orgânicos ou inorgânicos), limitando assim a área e tempo de contacto entre o biofilme e a água. Estes entupimentos podem ocorrer em qualquer tipo de leito (biológico) e tem sido reportado tanto para sistemas de escoamento sub-superficial horizontal ou vertical (Knowles *et al.*, 2011). Para leitos que se destinam ao tratamento secundário de águas residuais domésticas, o entupimento é mais frequentemente causado pela carga excessiva de matéria orgânica e/ou sólidos. Isto deve-se frequentemente à manutenção inadequada da fossa séptica existente a montante ou ao incorreto dimensionamento do próprio sistema. Recomenda-se por isso evitar a utilização de taxas de carga hidráulica e de sólidos que se encontrem na extremidade superior dos valores recomendados.

Os principais procedimentos de controlo operacional de rotina para uma correta manutenção de leitos de macrófitas referem-se a:

- Garantir o esvaziamento regular das fossas sépticas (ou outras infraestruturas de tratamento) a montante, de forma a evitar o arrastamento excessivo de sólidos para os leitos.
- Caso existam equipamentos de bombagem a montante, estes devem ser mantidos tendo em conta as especificações do fabricante (por exemplo, lubrificação).
- Prever pontos de inspeção nas tubagens de distribuição de efluente, e inspecioná-las regularmente, de forma a evitar entupimentos que causem distribuição não-uniforme das águas residuais pelo leito.

- Uma das principais atividades de manutenção dos leitos refere-se ao **controlo da vegetação**. Neste contexto, deve-se verificar periodicamente o aparecimento de espécies invasoras ou ervas daninhas, que interfiram com a vegetação pretendida para realizar o tratamento dos efluentes. Durante o inverno, a acumulação dessas espécies pode ser vantajosa na manutenção da temperatura do meio fixo. No verão deve proceder-se á sua remoção, de forma a evitar igualmente o aparecimento de espécies animais como roedores ou cobras. Adicionalmente, dependendo das espécies de macrófitas selecionadas, do clima e do seu ritmo de crescimento, poderá ser necessário realizar o corte periódico das plantas (Figura 6.4).



Figura 6.4 – Exemplo de manutenção de plantas macrófitas (crédito: SuSanA)

- A estrutura de controlo do nível de saída deve também ser verificada rotineiramente. O nível da água deve ser mantido 5 a 10 cm abaixo da superfície do meio filtrante. Se uma diminuição da altura da estrutura de controlo do escoamento não resultar numa diminuição do nível da água dentro do leito, poderá indicar que este se encontra colmatado.

## 6.4 Operação e manutenção de ETAR compactas

### BOAS PRÁTICAS E PROCEDIMENTOS RECOMENDADOS

Independentemente do tipo de tratamento preconizado na ETAR compacta, é usual que esta seja composta por um tratamento preliminar por gradagem, e por um tratamento secundário no interior dos reatores localizados a jusante.

Na obra de entrada, os procedimentos de operação mais comuns incluem:

- Limpar as grades e remover os sólidos retidos. A frequência de limpeza das grades deverá estar relacionada com o caudal afluente à estação e o intervalo de tempo entre limpezas consecutivas deverá ser estabelecido de acordo com as condições de funcionamento de cada estação, devendo ser registadas as intervenções de limpeza.
- Lavar o canal de entrada.
- Verificar periodicamente o processo de remoção das areias recolhidas de forma a evitar a sua acumulação excessiva.
- Registrar as intervenções de limpeza.
- Regular o caudal de insuflação de ar comprimido associado ao processo de remoção de gorduras, se aplicável, e assegurar as condições de remoção das gorduras recolhidas.

Se a instalação incluir uma estação elevatória, deve-se verificar o funcionamento das bombas, controlar os tempos de funcionamento de cada grupo eletrobomba, limpar o poço de bombagem (quando necessário) e registar as intervenções efetuadas.

No interior do reator, que poderá funcionar como tanque de arejamento, recomenda-se que se observem os seguintes procedimentos de operação:

- Observar visualmente o funcionamento (cor, escumas e arejamento).

- Inspeccionar e regular diariamente as comportas e válvulas de admissão e descarga das águas residuais.
- Verificar diariamente o teor de oxigénio dissolvido ( $OD \geq 1.5 \text{ mg/l}$ ) no licor misto e desfazer espumas ou crostas depositadas nas paredes interiores do tanque.
- Controlar agitação e recirculação de lamas ( $R \approx 1$ ).

Para o reator dedicado à sedimentação das lamas, caso exista, definem-se em regra os seguintes procedimentos:

- Limpar diariamente as caleiras e descarregadores, de forma a manter uma distribuição e descarga uniforme e homogénea.
- Controlar carga hidráulica e carga de sólidos.
- Inspeccionar, visual e diariamente, a superfície do decantador, nomeadamente a formação de bolhas e arrastamento de lamas de fundo e a capacidade de recolha de flotantes.
- Verificar a subida e descarga de lamas.
- Executar, periodicamente, purgas de lamas em excesso (para a linha de tratamento da fase sólida).

Em caso de ETAR compacta pré-fabricada, a frequência de recirculação e purga de lamas deverá ser efetuada de acordo com as indicações do fornecedor.



Figura 6.5 – Limpeza de compartimento enterrado por camião (Crédito: ForeverClean.com)

## 6.5 Operação e manutenção no tratamento de lamas

No tratamento de lamas, quer seja efetuado no mesmo local que o tratamento de águas residuais, quer em estação de tratamento dedicada, aplicam-se os mesmos princípios gerais de operação e manutenção que numa ETAR.

É essencial dispor-se de um plano de manutenção e monitorização, que defina os principais procedimentos e métodos analíticos de autocontrolo a realizar. Devem ainda definir-se e seguir-se todos os procedimentos de segurança adequados, acompanhada da implementação de sinalética de segurança e utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) adequados.

No entanto, devido á natureza específica das operações de tratamento de lamas, destacam-se neste capítulo os principais procedimentos a seguir para uma correta operação e gestão do sistema, como foco no tratamento em estação dedicada.

Para a seleção do local de implantação de um sistema de tratamento de lamas, para além da avaliação de viabilidade técnica e económica, deve também ser tidas em conta as condições de tráfego (devido ao aumento do número de veículos de transporte de lamas) e a possibilidade de obtenção de licença de descarga de efluentes líquidos tratados (escorrências) em meio recetor adequado. O local a selecionar deve igualmente ser afastado de populações, de forma a minimizar o efeito de odores que podem sempre resultar da volatilização de gases na descarga de lamas, processos de digestão e desidratação das lamas.

O plano de operação das unidades de tratamento deve incluir genericamente o controlo dos seguintes aspetos:

- Remoção de gradados;
- Carga de lamas (quantidade, qualidade e frequência. Deve-se registar o número e peso de veículos (camião limpa-fossas), se aplicável;
- Processo (parâmetros específicos de cada processo, como por exemplo na mistura de pilha de composto, ou reagentes utilizados na estabilização química);

- Tempos de residência;
- Recolha e posterior tratamento, eliminação ou venda de subprodutos finais.

### Remoção de lamas

Para facilitar a remoção da lama, é necessário que esteja suficientemente seca para poder ser removida.

O tempo de secagem de um tipo específico de lama depende de uma série de fatores, entre os quais a resistência da lama à desidratação, a temperatura média, a precipitação ou a exposição solar. As lamas secas apresentam fissuras visíveis e uma cor acinzentada.

A lama é removida mecanicamente ou manualmente, sendo as pás e os carrinhos de mão o método manual mais comum. Para remover a lama, deve ser prevista uma rampa para permitir o acesso ao leito dos carrinhos de mão ou outros equipamentos, tais como veículos motorizados. Neste caso, a estrutura do leito de secagem deve ser reforçada a fim de garantir que resiste ao peso adicional.

A secagem pode ser comprometida se ocorrer precipitação antes das escorrências da lama serem completamente drenadas. Neste caso, o teor de humidade da lama aumenta novamente e o período de secagem é prolongado. Quando a lama já está suficientemente seca para expor a camada de areia através das suas fendas, então a água da chuva pode passar diretamente através da lama e drenar através do leito de secagem.

A lama seca deve ser transportada para a etapa de estabilização (biológica ou química). As escorrências de ambos os processos devem ser encaminhadas, por meio de coletores gravíticos ou bombagem, para tratamento, conforme descrito para os processos de tratamento de efluentes líquidos.

## 6.6 Principais problemas operacionais

Apresentam-se nos quadros seguintes os principais problemas operacionais em sistemas de tratamento e algumas sugestões de atuação usual para a sua resolução. Os quadros foram elaborados

com base em ANAS (2018); Dotro *et al.* (2017), Vogel (2005), USACE (1999).

Quadro 6.2 – Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: Obra de entrada e fossa séptica

Principais problemas	Observações	Solução
<b>Obra de entrada</b>		
Existência de marcas de fricção no metal	Verificar posições relativas da grade e sistema de limpeza (podem estar mal posicionadas).	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ajustar posições da grade e de sistema de limpeza, se possível.</li> <li>▪ Recorrer ao fabricante.</li> </ul>
Mecanismo automático de limpeza não funciona	Testar para avaria no motor; inspecionar visualmente se o mecanismo está encravado ou a saída de água colmatada; testar circuitos elétricos para averiguar se estão comprometidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reparar ou substituir motor.</li> <li>▪ Remover obstrução ou substituir/limpar saída de água.</li> <li>▪ Reparar ou substituir circuitos elétricos.</li> </ul>
Bloqueamento excessivo das grades	Verificar espaçamento das grades e velocidade de escoamento, para despistar se a quantidade de detritos afluentes é superior à esperada; verificar se a frequência de limpeza é adequada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar espaçamento entre barras.</li> <li>▪ Determinar a origem do esgoto que causa o problema e evitar a sua descarga.</li> <li>▪ Aumentar frequência de limpeza.</li> </ul>
Existência de cheiros desagradáveis e/ou proliferação de insetos	Verificar método e frequência de remoção de detritos; verificar velocidade de escoamento; Verificar regularidade do fundo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar frequência de remoção de detritos e colocá-los em recipiente adequado.</li> <li>▪ Aumentar velocidade, se possível, e aumentar a frequência de lavagem da câmara de grades.</li> <li>▪ Eliminar irregularidades da soleira ou aumentar inclinação da mesma.</li> </ul>
<b>Fossa Séptica</b>		
Odores	Verificar periodicidade de limpeza da fossa; verificar se existe ventilação adequada dos compartimentos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proceder ao esvaziamento da fossa séptica.</li> </ul>
Acumulação de águas residuais nas tubagens ou equipamentos sanitários;  Descarga lenta nos equipamentos sanitários.	Verificar periodicidade de limpeza da fossa; verificar se existem raízes ou sedimentos a bloquear as tubagens de ligação á fossa e aos sistemas de disposição final; verificar se o solo se encontra saturado de água após eventos de precipitação intensa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proceder ao esvaziamento da fossa séptica.</li> <li>▪ Proceder à desobstrução das tubagens, se possível.</li> </ul>

Quadro 6.3 - Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: Leitos de macrófitas

Principais problemas	Observações	Solução
<b>Leitos de macrófitas</b>		
Perda de água; Águas subterrâneas contaminadas.	Infiltração pelos taludes	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aplicar bentonite argilosa na água da lagoa para vedar fugas.</li> <li>▪ Reduzir permeabilidade com uma camada de argila (se possível).</li> <li>▪ Proteger o talude internamente com lajetas de betão, argamassa armada, rip-rap, geomembranas, etc.</li> </ul>
Proliferação de insetos e espécies animais (roedores, cobras)	Verificar se o leito está colmatado; verificar periodicidade de remoção de ervas e de corte das plantas macrófitas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proceder aos passos descritos em “Colmatção dos leitos”</li> <li>▪ Ajustar periodicidade de manutenção de vegetação.</li> </ul>
Baixo crescimento das plantas macrófitas	Verificar se o caudal afluyente corresponde ao caudal médio de dimensionamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se o número de leitos for maior que um, ajustar a distribuição de caudal pelos leitos, equacionando por um ou mais temporariamente fora de serviço.</li> </ul>
Colmatção dos leitos	Verificar se o meio de enchimento é adequado (se for demasiado fino pode ser arrastado); verificar se está a ocorrer arrastamento de sólidos do tratamento de montante (por ex. fossa séptica); observar se há distribuição não uniforme de caudal e caminhos preferenciais para o escoamento; confirmar se a drenagem á volta dos leitos é adequada para evitar arrastamento de sólidos durante o escoamento superficial pluvial.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Adequar frequência de limpeza dos sistemas de montante.</li> <li>▪ Garantir o uso de gravilha lavada e arredondada ou areia grosseira no meio de enchimento.</li> <li>▪ Melhorar e/ou corrigir o escoamento superficial no recinto exterior dos leitos.</li> </ul>

Quadro 6.4 - Principais problemas operacionais e mecanismos de resolução: ETAR compacta por lamas ativadas

Principais problemas	Observações	Solução
<b>ETAR compacta (tanque de arejamento)</b>		
Existência de escumas escuras e estáveis no tanque de arejamento	Verificar idade das lamas e tempo de retenção.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se idade das lamas for superior a 15 dias é necessário aumentar a descarga de lamas em excesso em 10% diariamente até se atingir um valor inferior.</li> <li>▪ Se tempo de retenção for superior a 24 horas é necessário aumentar a extração de lamas e reduzir tempo de retenção até se atingir um valor inferior.</li> </ul>
Existência de espuma branca e espessa no tanque de arejamento	Verificar se matéria total em suspensão (SST e SSV) é muito reduzida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diminuir extração de lamas para aumentar a matéria em suspensão.</li> </ul>
Grande turbulência na superfície do tanque de arejamento com destruição de flocos	Medir OD no tanque para verificar se ocorre arejamento excessivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzir arejamento, de forma a manter OD com valores entre 1 e 3 mg/l.</li> </ul>
Incremento de arejamento sem alteração da carga orgânica e sem atingir OD pretendido	Verificar se há deficiência no arejamento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reparar sistema de arejamento e/ou apertar parafusos das flanges e vedar ligações do mesmo.</li> <li>▪ Corrigir colocação de difusores.</li> </ul>
Flocos de reduzida dimensão no efluente do decantador secundário, causam turvação embora efluente tenha boa qualidade	Verificar se OD no tanque de arejamento se situa entre 1 a 3 mg/l; verificar aparência das lamas; Verificar se carga de sólidos superficial ultrapassa 7 kg/m <sup>2</sup> .hora	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ajustar agitação/arejamento no taque.</li> <li>▪ Reduzir idade das lamas/ aumentar extração de lamas.</li> </ul>
<b>ETAR compacta (decantador)</b>		
Dificuldade na remoção de lamas sedimentadas	Verificar se há acumulação de areias ou argilas; medir a velocidade de extração de lamas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equacionar colocação de desarenador (ou melhoria da sua eficiência).</li> <li>▪ Aumentar velocidade de extração de lamas.</li> </ul>
Baixo teor de sólidos nas lamas	Verificar se há bombagem excessiva de lamas através da observação da frequência e duração da descarga de lamas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduzir frequência e duração das descargas.</li> </ul>
Existência de lamas à superfície do decantador	Verificar se OD no tanque de arejamento se situa entre 1 a 3 mg/l; Verificar se a concentração de nitratos no decantador secundário é elevada.	<p><b>OD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verificar perdas no sistema de arejamento, nomeadamente tubagens, e repará-las.</li> <li>▪ Aumentar arejamento, utilizando outra turbina ou aumentando o nível de água no tanque.</li> <li>▪ Limpar difusores.</li> <li>▪ Diminuição de carga utilizando outro tanque de arejamento.</li> </ul> <p><b>Nitratos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar a recirculação de lamas.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar o oxigénio dissolvido no tanque de arejamento, se for menor que 1 mg/l.</li> <li>▪ Reduzir idade das lamas.</li> <li>▪ Aumentar nutrientes de modo a que a relação CBO/nutrientes não seja superior a 100 mg/l de CBO para 5 mg/l de azoto total e 1 mg/l de fósforo e manter o mínimo de OD no tanque de arejamento em 1 mg/l.</li> </ul>
Lamas homogéneas, mas com aspeto fofo em algumas zonas da superfície do decantador secundário (teste de sedimentação revela pequenos flocos no sobrenadante)	Verificar se no tanque de arejamento houve diminuição de concentração em SSV, diminuição do tempo de retenção médio, aumento da razão CBO <sub>5</sub> /SSV, aumento do oxigénio dissolvido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzir descargas de lamas em 10%, até que concentração de SSV se aproxime dos valores normais.</li> </ul>
Crescimento excessivo de algas	Inspeção visual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumentar frequência de limpeza das superfícies.</li> <li>▪ Pré-cloragem e raspagem das superfícies com maior frequência.</li> </ul>
Lamas a transbordar uniformemente pelos descarregadores do decantador	Verificar funcionamento da bomba de extração de lamas; verificar profundidade das lamas; determinar a carga hidráulica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Limpeza da conduta de extração de lamas e/ou reparar bomba de recirculação/extração.</li> <li>▪ Aumentar recirculação e/ou extração de lamas e controlar espessura da camada de lamas entre 30 e 90 cm (ou outra indicação do fabricante).</li> <li>▪ Se carga hidráulica de ponta superior a 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h, construir tanque de regularização de caudais.</li> </ul>

# 7 REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTES E BIOSÓLIDOS: ECONOMIA CIRCULAR

## A ECONOMIA CIRCULAR

Embora não haja uma definição standard para a economia circular, o conceito surgiu como resposta ao modelo industrial linear de “extração – produção – consumo - resíduo” (Delgado *et al.*, 2021). Adaptando os conceitos avançados pelo Banco Mundial (Delgado *et al.*, 2021) e pela Fundação Ellen MacArthur (EMF, 2018), uma economia circular é pensada para ser restaurativa ou regenerativa. Implica dissociar gradualmente a atividade económica do consumo de recursos finitos e da degradação dos recursos ambientais, procurando minimizar o desperdício e aproveitar ao máximo os recursos.

A abordagem de economia circular substitui o conceito de fim de vida por restauração, elimina a utilização de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização e o retorno à biosfera, e visa eliminar os resíduos através de uma conceção melhorada de materiais, produtos, sistemas e modelos empresariais. O modelo circular, sustentado por uma transição para fontes de energia renováveis e uma utilização mais sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas, constrói capital económico, natural e social. Não só reduz o desperdício e as necessidades de recursos, como cria valor adicional dos recursos naturais e apoia o desenvolvimento de um ecossistema, no qual a inovação sustentável cria oportunidades para a atividade económica. A economia circular baseia-se assim nos seguintes princípios fundamentais:

- Projetar o desperdício (*Design out waste, DoW*)
- Pensar em sistemas (*Systems Thinking*)
- Energias renováveis
- Construir resiliência através da diversidade
- Regenerar sistemas naturais



Figura 7.1 – Fluxos da água (adaptado de IWA, 2016)

## 7.1 Reutilização de água tratada

A reutilização da água como estratégia de combate à escassez de recursos hídricos deve implicar ações planeadas, com a utilização das águas residuais tratadas em usos compatíveis. A satisfação das vantagens que a reutilização traz, requer, no entanto, cuidados de forma a garantir a proteção da saúde pública e controlo de riscos ambientais.

A reutilização de águas residuais tratadas deve ser preferencialmente direcionada para usos que requerem procura e que sejam compatíveis com a qualidade potencial dos efluentes. Nesse quadro, o maior potencial de reutilização corresponde à utilização no setor agrícola. A rega paisagística, usos industriais, ou usos urbanos como lavagens de pavimentos, configuram outras alternativas viáveis.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) divide os usos relativos às águas residuais tratadas em 4 categorias, nomeadamente na agricultura, na aquacultura, na recarga artificial de aquíferos exclusivamente para fornecimento de água potável, e no uso urbano (WHO, 2006).

O Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, define normas de qualidade de água para 5 classes de qualidade, relacionadas com o uso previsto (Quadro 7.1). Para cada classe estão definidos os parâmetros, e periodicidade de amostragem a cumprir. É de realçar que a reutilização de efluentes implica a garantia de tratamento terciário por desinfecção, de forma a eliminar os microrganismos patogénicos aí presentes.

Quadro 7.1 – Descrição das classes de rega, usos e nível de tratamento adequado, de acordo com DL 119/2019

Classe	Usos	Nível de tratamento
<b>A</b>	Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): culturas consumidas em cru em que a parte consumível está em direto contacto com a água; rega de jardins públicos sem restrição de acesso; rega de jardins privados.	Mais avançado que secundário (desinfecção).
<b>B</b>	Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas): culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos; rega de jardins com restrição de acesso, incluindo áreas de lazer e desportivas (e.g. campos de golfe)	Mais avançado que secundário (desinfecção).
<b>C</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): rega de culturas consumidas em cru, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em direto contacto com a água; rega de culturas agrícolas destinadas a processamento e de culturas agrícolas não destinadas ao consumo humano, incluindo culturas destinadas ao consumo animal (produção de leite ou carne), exceto suínos.	Mais avançado que secundário (desinfecção)
<b>D</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia.	Mais avançado que secundário (desinfecção).
<b>E</b>	Rega com restrição de acesso (usos agrícolas): produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (e.g., sebes, áreas de contenção (prados em socalcos).	Mais avançado que secundário (desinfecção).

Assim, dependendo do tipo de utilização da água e das condições físicas locais, um sistema de reutilização de águas residuais tratadas pode incluir:

- Instalações para tratamento avançado, complementares à(s) ETAR existente(s);
- Reservatório de regularização do efluente a submeter a tratamento complementar para ser reutilizado;
- Reservatórios de armazenamento;
- Rede de tubagens de adução e distribuição e aplicação da água residual tratada;
- Estações elevatórias;
- Medição de caudal.

As formas mais comuns de desinfecção de efluentes, aplicáveis a pequenas instalações, são usualmente lagoas de maturação, cloragem e radiação UV.

No contexto açoriano, o artigo 39º do Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A define as condições para a reutilização de águas residuais tratadas.

### LAGOAS DE MATURAÇÃO

As lagoas de maturação fazem parte, em regra, de sistemas de lagoas de estabilização, onde estão envolvidos exclusivamente processos naturais, nomeadamente a sedimentação, a adsorção, a fotossíntese e a foto-oxidação, entre outros. O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de microrganismos patogénicos, devido à predominância de condições ambientais adversas, como radiação ultravioleta, pH e concentração de oxigénio dissolvido elevados.

As lagoas de maturação são dimensionadas com reduzidas profundidades de águas (usualmente inferior a 1.20 m), de forma a garantir a penetração dos raios ultravioleta em toda a massa de água. Estas lagoas podem ser projetadas em série para aumento da eficiência de desinfecção.

### CLORAGEM

O cloro é o desinfetante mais utilizado, devido à sua facilidade de aplicação, baixo custo e boa eficiência. A eficiência deste reagente depende de algumas características da água residual a tratar,

designadamente pH, temperatura, grau de mistura, tempo de retenção e natureza e concentração dos microrganismos a eliminar. Contudo, a sua ação pode ser dificultada pela presença de partículas em suspensão, que protegem os microrganismos.

Apesar do cloro ser o desinfetante mais utilizado, ao reagir com compostos orgânicos pode levar à formação de trihalometanos (THM), com efeitos nocivos para a saúde humana (pela sua correlação com alguns tipos de cancro). É essencial garantir a remoção de sólidos em suspensão e matéria orgânica para uma eficiente e segura utilização de cloro como agente desinfetante de águas residuais.

### RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Este processo consiste na incidência de radiação UV de espectro eletromagnético entre 100 e 400 nm. A radiação é absorvida pelos ácidos nucleicos dos microrganismos, entre os 220 e 320 nm (Metcalf & Eddy, 2004), o que provoca a morte das células. É de simples operação, requer pouco espaço e pode ser aplicada em canais abertos ou em tubagem fechada. A sua eficiência diminui na presença de elevados teores de sólidos suspensos, que se refletem na cor e turvação, e de matéria orgânica em solução, que pode absorver ou reagir com a radiação. A radiação UV poderá ter como principais inconvenientes o consumo de energia e a necessidade de limpeza e substituição periódica das lâmpadas.

Tal como na cloragem, de forma a melhorar o processo de desinfecção, deve submeter-se previamente a água residual a uma filtração prévia.



## SISTEMAS DE ADUÇÃO E ABASTECIMENTO

Dependendo dos tipos de usos, pode ser necessário prever sistemas de armazenamento, adução e distribuição de águas residuais tratadas (ART), que assegurem a disponibilidade do volume de água requerido para garantir a operação da reutilização, bem como promover a gestão de volumes necessários, devido a variações diárias e sazonais das aflúncias ou devido a emergências.

Os sistemas de distribuição de ART devem ser dimensionados à semelhança de uma rede de distribuição de água para consumo humano, com base nos caudais de ponta, sendo os volumes de armazenamento estimados com base nas necessidades (Monte e Albuquerque, 2010).

Devem definir-se medidas de segurança exigentes de modo a salvaguardar-se a saúde pública. A distribuição do efluente tratado deve ser efetuada através de uma rede específica, com traçado definido em função dos pontos de consumo, que devem conter instrumentos de medição.

Todos os dispositivos de fecho de câmaras de válvulas, num sistema de abastecimento de ART, devem conter uma inscrição moldada na superfície

da tampa, e ter um formato que não seja compatível com outros dispositivos dos sistemas de fornecimento de água para consumo humano, ou de drenagem de águas residuais. De modo semelhante,

As juntas devem distinguir-se das juntas de outros dispositivos de diferentes sistemas de abastecimento de água, de modo a evitar contaminação das águas através de ligações cruzadas.

## MÉTODOS E TÉCNICAS DE REGA

Além de humedecer o solo compensando a evapotranspiração, a rega com efluentes tratados assume-se como rega de fertilização contribuindo para a incorporação dos nutrientes dissolvidos na água, assegurando a fertilização do solo, em simultâneo com o humedecimento. Para além da desinfecção do efluente, o método de rega tem também uma função relevante no controlo e na minimização dos potenciais efeitos negativos de acumulação de sais na zona radicular ou de contaminação.



Contudo, esta técnica não favorece o controlo do risco de contaminação, pois maximiza o contacto da água com todas as partes da cultura e do solo. A formação de aerossóis capazes de se deslocarem com o vento amplia o grupo de risco. Trata-se, pois, da técnica com maior risco de disseminação de microrganismos patogénico, e requer um elevado grau de depuração do efluente ao nível de organismos patogénicos.

A rega gota-a-gota é o método de rega localizado mais conhecido. A água é aplicada junto à planta, por gotejamento, permitindo uma grande eficiência. Um método menos comum, mas bastante seguro do ponto de vista da redução do risco para a saúde humana é o método de rega sub-superficial, no qual a água é distribuída com limitado contacto com a parte aérea da planta (Monte & Albuquerque, 2010).

Estes são considerados os dois métodos que minimizam o risco de contaminação por agentes patogénicos. No entanto, existe um risco de entupimento e colmatação dos gotejadores, devido à potencial presença de sólidos suspensos. Estes métodos são os mais dispendiosos (sobretudo a rega sub-superficial), fazendo da rega gota-a-gota um método de rega frequentemente preferido.

## SEPARAÇÃO DE ÁGUAS CINZENTAS

A separação de águas cinzentas, com vista à reutilização para rega ou limpezas diversas, implica a construção de um reservatório a jusante, cujo tempo de retenção não deve ser superior a 24 horas. Quando a água é reutilizada na rega de culturas e jardins, é conveniente a monitorização dos solos, uma vez que as águas cinzentas podem contribuir para acumulação, a longo prazo, de substâncias derivadas de detergentes e espumas.

A separação permite igualmente aliviar os órgãos de tratamento das águas negras, permitindo períodos de limpeza superiores. Na prática, pode-se considerar um órgão de retenção para águas cinzentas e um para águas negras, com uma etapa de infiltração a jusante para ambos os efluentes.

Em Portugal, a legislação não se refere especificamente a águas cinzentas, ao contrário do que ocorre noutros países, como Alemanha, Austrália ou Japão, por exemplo. Nalguns casos, verifica-se inclusivamente a obrigatoriedade de separação de águas cinzentas para edifícios acima de uma certa dimensão.

## 7.2 Reutilização de biosólidos

Uma vez tratadas, as lamas podem ser recicladas ou eliminadas, através de três vias principais: reutilização (terra aplicação), incineração ou deposição em aterro. Tem sido comum nas últimas décadas a utilização de aterros sanitários como destino final das lamas do tratamento de efluentes em ETAR. No entanto, a mudança de paradigma para uma abordagem de economia circular, tem demonstrado que a reutilização dos subprodutos resultantes do tratamento de fase sólida (lamas ou biosólidos) também é possível e vantajosa, com aplicação sobretudo em duas vertentes, nomeadamente na valorização agrícola/ corretivo de solos e na produção de energia.

Existem ainda técnicas, como a produção de *biochar*, que permitem a obtenção de um subproduto aplicável a várias indústrias. O *biochar* é um produto poroso carbonatado derivado de biomassa, obtido por pirólise, cujas características dependem das matérias-primas que lhe deram origem, e que podem incluir resíduos agrícolas, resíduos de madeira, resíduos de gado ou lamas de depuração. A utilização de *biochar* quer como adsorvente quer como fonte de nutrientes na melhoria da fertilidade do solo são já reconhecidas. Recentemente, aplicações como adjuvante em processos de oxidação avançada no tratamento de água e águas residual (Gopinath *et al.*, 2021) ou na produção de energia (Nantambi *et al.*, 2016) têm vindo a ser estudadas.

Há que referir que cada abordagem para a utilização destes subprodutos tem preocupações inerentes, no que se refere à proteção da saúde humana e meio ambiente, sobretudo no que se refere à potencial bioacumulação de metais pesados, à presença de microrganismos patogénicos e de compostos químicos orgânicos poluentes que

podem persistir após o tratamento (como por exemplo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, PAH, certas bifenilos policlorados, PCB, dioxinas ou furanos).

A União Europeia proíbe a utilização de lamas não tratadas em terrenos agrícolas. Entende-se como tratamento neste contexto, qualquer processo biológico, químico ou térmico, armazenamento a longo prazo ou qualquer outro processo adequado, de modo a reduzir significativamente a sua fermentabilidade e os riscos sanitários resultantes da sua utilização (EC, 2001).

### APLICAÇÃO AGRÍCOLA

As lamas estabilizadas resultantes de tratamento em ETAR podem ser diretamente aplicadas como corretivo de solos, usadas como composto (se submetidas a uma etapa de compostagem durante o tratamento) ou através de biochar (se submetidas a uma etapa de pirólise).

Os biosólidos são ricos em matéria orgânica, cuja mineralização no solo resulta na libertação de macro e micronutrientes essenciais para as culturas, permitindo assim a redução do uso de fertilizantes, enquanto funcionam como uma fonte de energia para os microrganismos no solo, potenciando a sua atividade e população.

O Decreto-Lei n.º 276/2009, de 2 de outubro, estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas, de forma a evitar efeitos nocivos para a saúde humana, para a água e solos, para a vegetação e para os animais.

Os produtores de lamas devem dispor de uma capacidade mínima de armazenagem de lamas equivalente à produção média de três meses. Estas devem ser armazenadas em locais impermeabilizados e cobertos de forma a evitar infiltrações ou derrames que possam originar a contaminação.

É obrigatória a realização de análises às lamas e aos solos, nos termos do anexo II do decreto referido. O decreto refere ainda restrições adicionais relativas às operações de misturas de lamas, bem como

regras a seguir e proibições nos processos de espalhamento e aplicação no solo das lamas tratadas.

As análises a efetuar às lamas e aos solos incluem:

- **parâmetros agronómicos:** matéria seca, matéria orgânica, pH, azoto total, azoto nítrico e amoniacal, fósforo total, potássio total, magnésio total, cálcio total.
- **metais pesados:** cádmio, cobre, níquel, chumbo, zinco, mercúrio, crómio.
- **microrganismos patogénicos:** *Salmonella* spp, *Escherichia coli*.

Os valores limite de concentração de cada parâmetro encontram-se no anexo I do diploma. Os métodos e frequência de análise são apresentados no anexo II.

O Decreto Legislativo Regional n.º 18/2009/A estabelece igualmente os requisitos de utilização agrícola das lamas no território açoriano, de acordo com o exposto no Capítulo V e Anexos II e III.

Na compostagem de lamas, os componentes orgânicos decompõem-se biologicamente (oxidação dos compostos voláteis), em condições aeróbicas controladas, até alcançarem um estado que permita a sua manipulação, armazenamento e a respetiva aplicação, sem riscos nem impactes negativos no meio ambiente. O produto resultante pode ser comercializado como fertilizante natural, colmatando necessidades de mercado da região, enquanto resolve o problema da gestão de elevados volumes de lamas. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 7.2 o fertilizante Agronat, produzido na ETAR da Parada na Maia, através da co-compostagem das lamas de depuração, com casca de pinheiro moída (SMAS Maia, 2022).



Figura 7.2 – Produção de fertilizante natural por compostagem na ETAR de Parada

No que se refere ao biochar este é obtido através do processo de pirólise das lamas, cujo processo oferece a vantagem adicional de produzir menos gases de combustão e dioxinas que a alternativa de incineração. O produto sólido resultante do processo, o biochar, apresenta uma área específica de cerca de  $360 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , tendo sido testado como adsorvente em processos de tratamento de águas residuais, como por exemplo em detrimento do carvão ativado no tratamento de odores (Paz-Ferreiro *et al.*, 2018).

No entanto, nos últimos anos, tem havido um número crescente de estudos relativos à utilização de biochar como corretivo do solo devido às suas inúmeras vantagens, incluindo a melhoria da produtividade do solo, remediação de solos contaminados e mitigação das alterações climáticas.

Um parâmetro chave para o processo aparenta ser a temperatura de pirólise, que ronda usualmente os 300-700 °C. Alguns autores sugerem que a

temperatura adequada para maximizar a produção da fração sólida da pirólise de lamas (o biochar) rondam os 300°C (Paz-Ferreiro *et al.*, 2018). Adicionalmente, a manipulação da temperatura permite também a criação de produtos mais ácidos ou mais alcalinos, permitindo assim direcionar a aplicação consoante o pH dos solos em questão (Hossain *et al.*, 2011).

Por último, o biochar pode igualmente ser utilizado em combinação com outras aplicações, como por exemplo a deposição em aterro (uma vez que permite reduzir drasticamente o volume dos biosólidos) ou em processos de compostagem, com efeitos no aumento da eficiência do processo e redução na emissão de gases de efeito de estufa (Awasthi *et al.*, 2017; Paz-Ferreiro *et al.*, 2018).



### VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

Os processos que permitam a valorização energética das lamas enquadram-se na estratégia de promoção de energias renováveis, podendo igualmente contribuir para a criação de novas oportunidades de negócio. O tipo de processo a escolher depende da escala do tratamento, do poder calorífico das lamas e do mercado potencial.

Para instalações de maiores dimensões, as lamas resultantes do tratamento das águas residuais são muitas vezes valorizadas para produção de biogás através de processos de hidrólise térmica e digestão anaeróbia. Em instalações menores existem alternativas como (Nantambi *et al.*, 2016):

- Produção de pellets
- Combustível triturado
- Biochar

As lamas desidratadas podem ser transformadas em pellets, para utilização em processos de gasificação que utilizam biomassa (como restos de madeira, café ou arroz) para produção de um gás que é queimado para produção de calor ou eletricidade. Os gaseificadores de pequena escala, requerem usualmente combustíveis de tamanho homogêneo, baixos teores de humidade e elevado poder calorífico (Englund *et al.*, 2016). Existem atualmente peletizadoras capazes de trabalhar com teores de humidade mais elevados (Figura 7.3), sendo assim adequados para a aplicação a lamas desidratadas. Os pellets produzidos podem ser direcionados para indústrias que utilizam atualmente combustíveis de derivados de biomassa para o aquecimento de produtos não comestíveis. Exemplos incluem empresas de argila, cimento e chá que poderiam utilizar os pellets para a geração de calor nos seus processos de produção nas fases de secagem, pré-aquecimento ou queima (Nantambi *et al.*, 2016).

De modo semelhante, pode haver interesse na produção de combustível triturado para aplicações em fornos, em combinação com outros tipos de biomassa (Nantambi *et al.*, 2016).



Figura 7.3 – Exemplo de peletizadora (Bioburn®)

Por último, para além da utilização de biochar para aplicação agrícola, corretivo de solos ou adsorvente, como discutido anteriormente, este produto pode ser igualmente utilizado para valorização energética. Os briquetes de biochar podem apresentar, no entanto algumas limitações, uma vez que podem conter elevado teor de cinzas (até 70%) e um poder calorífico de cerca de 7 MJ/kg Sólidos Totais (ST) (Gold *et al.*, 2016), o que pode requerer otimização do processo. Comparativamente, o carvão contém menos de 5% de teor de cinzas e um poder calorífico na ordem dos 22 – 30 MJ / kg.

Exemplos de aplicação a larga escala podem ser encontrados em instalações de tratamento de lamas fecais em diversos países, como na Índia (Krueger *et al.*, 2020), Uganda, Ghana and Senegal (Nantambi *et al.*, 2016; Muspratt *et al.*, 2014). Essas experiências indicam um poder calorífico médio de 17.3 MJ/kg ST, equiparável com o de outros biocombustíveis, e que atestam o potencial da utilização de lamas de depuração como biocombustível.

## 8 SÍNTESE E RECOMENDAÇÕES

O presente guia técnico respeita o saneamento de pequenos aglomerados populacionais e aplica-se, fundamentalmente, a habitações e empreendimentos isolados e aglomerados populacionais até 1000 habitantes.

O documento pretende constituir um instrumento de apoio aos técnicos e profissionais no setor da água e saneamento, contribuindo para uma maior eficiência global dos serviços. Neste guia técnico são apresentadas as principais soluções de tratamento tecnicamente elegíveis para pequenos aglomerados populacionais, incluindo opções de tratamento centralizado e descentralizado.

São apresentadas soluções de tratamento primário utilizando fossa séptica e tanque Imhoff, soluções de tratamento complementar de base natural como lagunagem e leitos de macrófitas, nas suas diferentes configurações, bem como diversas alternativas para a disposição final do efluente líquido decantado (poços absorventes, trincheiras e leitos de infiltração, aterros filtrantes e leitos de macrófitas) e para a desidratação, estabilização e deposição final de lamas (leitos de secagem plantados e não plantados, e o recurso a compostagem e estabilização química para higienização dos biosólidos).

São também apresentados aspetos de seleção dos locais de implantação das soluções de tratamento e de construção, bem como recomendações para o controlo operacional e manutenção dos sistemas. É ainda dado ênfase ao aproveitamento de subprodutos resultantes do processo de recolha e tratamento das águas residuais, nomeadamente de efluentes líquidos e de biosólidos.

De forma geral, o elevado investimento necessário para a construção de redes de drenagem convencionais para servir zonas remotas e de

reduzida densidade populacional justifica a adoção de soluções de tratamento específicas para os pequenos aglomerados, com benefícios nas vertentes económicas, ambientais e sociais.

Considera-se, em geral, que para aglomerados populacionais de pequena dimensão e com baixa densidade populacional se deve privilegiar o uso de fossas sépticas com sistemas adequados e seguros para a disposição de efluentes. Para populações superiores pode equacionar-se o recurso a soluções de base natural, devido às vantagens económicas, sociais e ambientais, incluindo baixos requisitos de operação e manutenção, que esse tipo de soluções exige.

Em termos de encargos de exploração, os custos são normalmente reduzidos, embora dependam em grande parte da eficiência da gestão das instalações. Não obstante, soluções de base natural e de menor complexidade apresentarão, naturalmente, custos inferiores aos de soluções centralizadas compactas. Por comparação a sistemas convencionais de tratamento por lamas ativadas, os sistemas de tratamento por lagunagem apresentam encargos de exploração de 25 a 40%, enquanto os sistemas por leitos de macrófitas apresentam encargos na ordem de 20 a 30% dos primeiros (Libhaber e Jaramillo, 2012).

Sempre que se justifique, os biosólidos dos diversos sistemas descentralizados devem ser sujeitos a tratamento em instalação dedicada, e equacionar-se o seu potencial de reaproveitamento, quer para valorização agrícola ou correção de solos, quer do ponto de vista de recurso energético.

O saneamento deve contribuir para o crescimento e desenvolvimento económico, tendo em consideração o valor da imagem e a aposta na

diferenciação, em linha com certificação de turismo sustentável que o Arquipélago possui.

Devem pois privilegiar-se soluções de saneamento com agregação de valor, com preferência por sistemas de base natural e, se possível, com reutilização de produtos para usos compatíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAS (2018). Guia Técnico de Operação e Manutenção de ETAR. Programa de Apoio ao Setor de Água e Saneamento (PASEA) e Cooperação Cabo Verde- Luxemburgo.
- Awasthi, M.K.; Wang, M.; Chen, H.; Wang, Q.; Zhao, J.; Ren, X.; Li, D.; Shen, F.; Li, R.; Zhang, Z. (2017) Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting. *Bioresour. Technol.*, 224, 428–438.
- Bakir, H. A. (2001). Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management* (2001) 61, 319–328
- Bartolomeu, F. A. (1996). Tecnologias de drenagem e tratamento de águas residuais apropriadas a aglomerados até 5000 habitantes, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL, Lisboa, 1996
- Brix, H., Arias, C. A. (2011). Use of willows in evapotranspirative systems for onsite wastewater management – theory and experiences from Denmark. “STREPOW” International Workshop, Novi Sad, Serbia, February 2011, pp. 15-29
- Brix, H. (2017). Sludge Dewatering and Mineralization in Sludge Treatment Reed Beds. *Water*, 9, 160
- DRA, 2020. Relatório do Estado do Ambiente dos Açores 2017-2019, Direção Regional do Ambiente, setembro 2020.
- Delgado, A., Rodriguez, D. J., Amadei, C. A., and Makino, M. (2021). "Water in Circular Economy and Resilience (WICER)." World Bank, Washington, DC.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., von Sperling, M. (2017). Biological Wastewater Treatment Series, Volume Seven: Treatment Wetlands. IWA Publishing.
- EAWAG and IWMI (2003). Co-composting of Faecal Sludge and Municipal Organic Waste – A Literature and State of-Knowledge Review. Consultado em: [http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/ewm/dl/ CCP\\_FS\\_orgWaste.pdf](http://www.eawag.ch/forschung/sandec/publikationen/ewm/dl/CCP_FS_orgWaste.pdf).
- Ellen MacArthur Foundation (EMF), ARUP, and Antea Group (2018). “Water and Circular Economy.” [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ ce100/Water-and-Circular-Economy-White-paper-WIP-2018-04-13.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/ce100/Water-and-Circular-Economy-White-paper-WIP-2018-04-13.pdf).
- Englund, M., Turyasiima, D., Gold, M., Niwagaba, C., Studer, F., Strande, L. (2016). Co-pelletizing of faecal sludge with different biowastes for gasification. Sludge to Energy Enterprises in Kampala (SEEK) project. Report available at: [https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A14956/datastream/PDF/Englund-2016-Sludge\\_to\\_Energy\\_Enterprises\\_in-%28published\\_version%29.pdf](https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A14956/datastream/PDF/Englund-2016-Sludge_to_Energy_Enterprises_in-%28published_version%29.pdf)
- EPA (2002). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual. Office of Water, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/625/R-00/008

EPA (2005). Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) Wastewater Treatment Systems – An introduction to Management Tools and Information for Implementing EPA’s Management Guidelines, U.S. Environmental Protection Agency. EPA No. 832-B-05-001, 2005.

European Communities. Disposal and Recycling Routes for Sewage Sludge Part 3—Scientific and Technical Report; Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg, 2001; p. 70, ISBN 92-894-1800-1.

ERSAR (2017). Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Cadernos de Sensibilização – Utilização de fossas sépticas individuais, disponível em [www.ersar.pt](http://www.ersar.pt).

Franceys, R., Pickford, J. & Reed, R. (1992). A guide to the development of on-site sanitation. England: World Health Organization.

Gold, M., D. Turyasiima, M. Cunningham, F. Studer, S. Tukahirwa, S. Nantambi, R. Arnheiter, M. Bleuler, W. Getkate, A. Schönborn, Ch. Niwagaba, M. Babu, Ch. Kanyesigye, L. Strande (2016). Energy Recovery with Faecal Sludge Fuels in Kampala, Uganda. Excreta and Wastewater Management. *sandec news* 17 / 2016

Gopinath A, Divyapriya G, Srivastava V, Laiju AR, Nidheesh PV, Kumar MS (2021). Conversion of sewage sludge into biochar: a potential resource in water and wastewater treatment. *Environ Res* 194:110656

HORNSBY (2006). Operation and Maintenance Manual - Septic Tank and Absorption Trench System. Consultado em [www.hornsby.nsw.gov.au](http://www.hornsby.nsw.gov.au), em maio de 2018

Hossain, M.K.; Strezov, V.; Chan, K.Y.; Ziolkowski, A.; Nelson, P.F. (2011) Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *J. Environ. Manag.*, 92, 223–228

Ingallinella, A. M., Sanguinetti, G., Koottatep, T., Montangero, A., Strauss, M. (2002). The challenge of faecal sludge management in urban areas – strategies, regulations and treatment options. *Water, Science and Technology* 46(10), p.285-294

Istenič e Arias (2021). Willow Systems – Factsheet. Consultado em outubro de 2002 em: [https://snapp.icra.cat/factsheets/03\\_Willow%20systems.pdf](https://snapp.icra.cat/factsheets/03_Willow%20systems.pdf)

IWA (2016). Water Utility Pathways in a Circular Economy. International Water Association, consultado em outubro de 2002 em [https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/07/IWA\\_Circular\\_Economy\\_screen.pdf](https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2016/07/IWA_Circular_Economy_screen.pdf)

Kadlec, R.H. and Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*, Second Ed. CRC Press, Boca Raton, FL.

Kengne, I. M., Amougou Akoa, Koné, D. (2009). Recovery of biosolids from constructed wetlands used for faecal sludge dewatering in tropical regions. *Environmental Science and Technology* 43, p.6816-6821

Klingel, F., Montangero, A., Koné, D., Strauss, M. (2002). *Fecal Sludge Management in Developing Countries. A planning manual*. EAWAG: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology Sandec: Department for Water and Sanitation in Developing Countries.

Knowles P., Dotro G., Nivala J., García J. (2011) Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Occurrence and contributing factors. *Ecological Engineering* 37(2):99- 112

Krueger B.C., Fowler, G., Templeton, M. R., Moya, B. (2020). Resource recovery and biochar characteristics from full-scale faecal sludge treatment and co-treatment with agricultural waste. *Water Research*, 169, 115253

- Levy J., Santiago J., Salles F. (1991). Manual de saneamento básico. Tomo VI, Exploração de Sistemas. Lisboa: DGRN
- Libhaber, M., Orozco Jaramillo, A. (2012). Sustainable Treatment and Reuse of Municipal Wastewater - For Decision Makers and Practicing Engineers. IWA Publishing.
- Melo, J. C. (2005). The Experience of Condominial Water and Sewerage Systems in Brazil: Case Studies from Brasilia, Salvador and Parauapebas. World Bank, BNWP, WSP
- Mendez, J.M., Jimenez, B.E., Barrios, J.A. (2002). Improved alkaline stabilization of municipal wastewater sludge. *Water Science and Technology* 46, p.139-146
- Metcalf & Eddy (2014). *Wastewater Engineering*. 4ª ed. Singapore: McGrawHill.
- Monte, H., & Albuquerque, A. (2010). Reutilização das águas residuais. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.
- Morais, A. Q. (1977). Depuração dos esgotos domésticos dos pequenos aglomerados populacionais e habitações isoladas, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, 1977
- Nantambi, S., Getkate, W., Abbo, M.S. (2016). Sludge to Energy Enterprises in Kampala (SEEK) - Business models for faecal sludge treatment end products in Kampala, Uganda. Eawag, bioburn and CREEC. Report available at [https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/ewm/SEEK/pdfs/nantambi\\_business\\_models.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/schwerpunkte/ewm/SEEK/pdfs/nantambi_business_models.pdf)
- Nielsen, S. (2007). Sludge treatment and drying reed bed systems. *Ecohydrology & Hydrology*, 7 (3-4), 223-234.
- Nielsen, S., Stefanakis, A. (2020). Sustainable Dewatering of Industrial Sludges in Sludge Treatment Reed Beds: Experiences from Pilot and Full-Scale Studies under Different Climates. *Appl. Sci.* 2020, 10(21), 7446
- NYSDH, 2012. Residential Onsite Wastewater Treatment Systems – Design Handbook. New York State Department of Health, Bureau of Water Supply Protection, 2012.
- Paz-Ferreira, J., Nieto, A., Méndez, A., Askeland, M. (2018). Biochar from Biosolids Pyrolysis: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 May 10;15(5):956. doi: 10.3390/ijerph15050956
- Pescon, B.M., Nelson, K.L. (2005). Inactivation of *Ascaris suum* eggs by ammonia. *Environmental Science and Technology* 39, p.7909-7914
- PGRH, 2015. Plano de Gestão da Região Hidrográfica dos Açores (RH9) 2016-2021, Direcção Regional do Ambiente, dezembro 2015.
- Quadros, S., Rio, P., Mesquita, E., Rosa, M. J. (2017). Exploring the use of Azorean native plants and rock material for sustainable wastewater treatment through constructed wetland systems. 2<sup>nd</sup> European Water Association Spring Conference, May 10 – 11, 2017, Lisbon, Portugal
- RAAQSARA, 2021. Relatório Anual de Avaliação da Qualidade dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores, 2021. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos dos Açores, novembro 2021
- SANEPAR (2018). Projeto Unifamiliar: Construção, Operação e Manutenção das Fossas Sépticas. Consultado em <https://slidept.net/document/sanepar-projeto-unifamiliar-pdf> , em maio de 2018.

- Sasse, L., 1998. DEWATS - Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries. Bremen: BORDA.
- Shrestha, R. (2020). Septic Tank Design Manual. Publisher: Environment and Public Health Organization (ENPHO). ISBN: 9789937081160
- SMAS Maia (2022). Estação de compostagem de lamas de Parada. Serviços Municipalizados da Maia. Relatório disponível em: [https://www.smasmaia.pt/smasmaia/uploads/document/file/178/lamas\\_de\\_parada.pdf](https://www.smasmaia.pt/smasmaia/uploads/document/file/178/lamas_de_parada.pdf)
- Strande, L. *et al* (2014). Faecal Sludge Management - Systems Approach for Implementation and Operation. IWA Publishing
- Tilley, E. Ulrich, I. Luethi, C. Reymond, P. Zurbruegg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2<sup>nd</sup> Revised Edition. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)
- Turovskiy, I. and Mathai, P.K. (2006). Wastewater Sludge Processing. John Wiley and Sons, New Jersey.
- UN Environment-DHI, UN Environment and IUCN (2018). Nature-Based Solutions for Water Management: A Primer.
- UN-Habitat (2008). Constructed Wetlands Manual. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu
- US ACE (1999). Design, construction, and operation: small wastewater systems. EM (Series) (United States. Army. Corps of Engineers), 1110-2-501
- Veolia (2022). Composting process. Consultado em outubro 2022 em: <https://www.sede.veolia.com/en/communities/waste-recovery/composting/composting-process>.
- Vogel M. (2005). Septic Tank and Drainfield Operation and Maintenance. Montana State University (MSU) Extension Service Housing Specialist. Consultado em <http://msuextension.org/publications/HomeHealthandFamily/MT199401HR.pdf>, em junho de 2018.
- Von Sperling, M. (2006). Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 3 – Lagoas de estabilização. 2ª Edição. Belo Horizonte. Dept. de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais
- Vyzamal, (2013). The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. Water Research 47 (2013) 4795-4811.
- WHO, W. H. (2006). WHO Guidelines for the use of Wastewater Excreta and Greywater; Volume I: Policy and Regulatory Aspects. France: World Health Organization.
- WSP (2008). Constructed Wetlands: A promising wastewater treatment system for small localities. WSP – Water and Sanitation Program. Consultado em <https://www.wsp.org/sites/wsp/files/publications/ConstructedWetlands.pdf>, em outubro de 2022.

## OUTRAS REFERÊNCIAS

Algumas imagens constantes neste guia técnico são crédito de SuSanA - Sustainable Sanitation Alliance (<http://www.susana.org/>) e seus parceiros, e foram obtidas no seguinte endereço eletrônico: <https://www.flickr.com/people/gtzecosan/>, através da Licença de uso CC-BY SA 4.0.

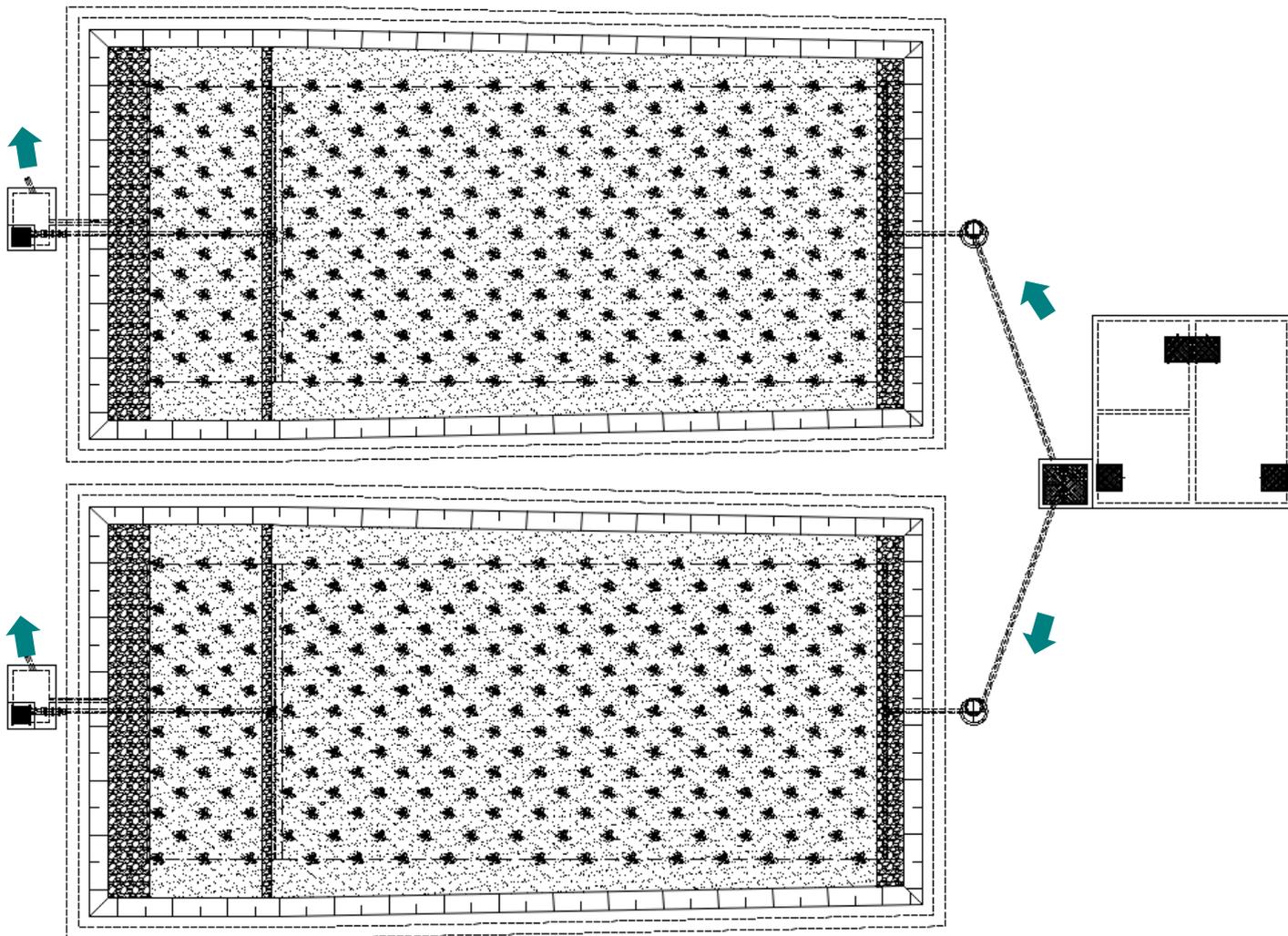
# ANEXO

## Desenhos-Tipo

- 1 – Implantação de Fossa Sética e Leitos de Macrófitas
- 2 – Planta e Cortes de Fossa Sética
- 3 – Planta e Cortes de Leito de Macrófitas
- 4 – Planta e Cortes de Leitos de Secagem de Lamas (Não Plantados)

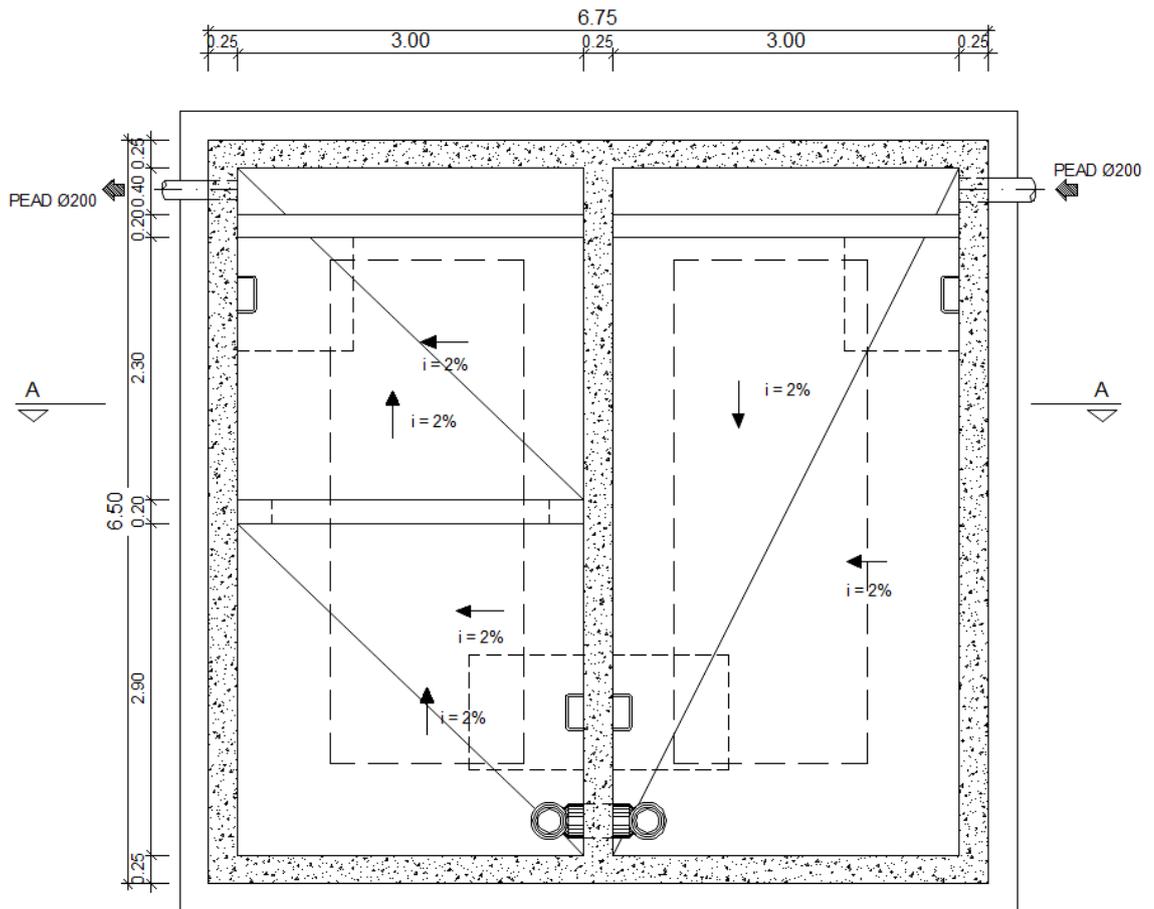


## 1. IMPLANTAÇÃO DE FOSSA SÉTICA E LEITOS DE MACRÓFITAS

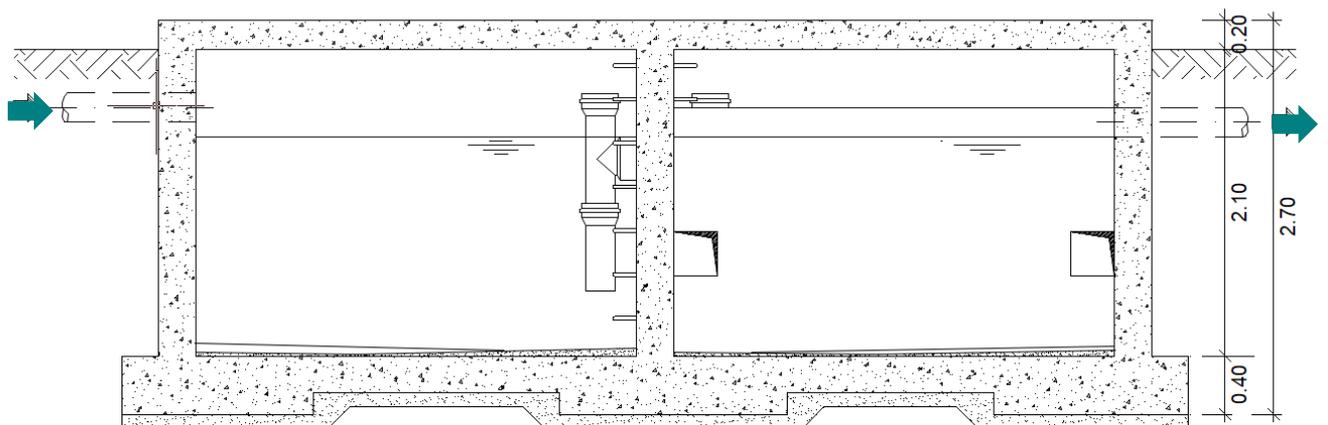


IMPLANTAÇÃO (S/ ESCALA)

## 2. PLANTA E CORTES DE FOSSA SÉTICA

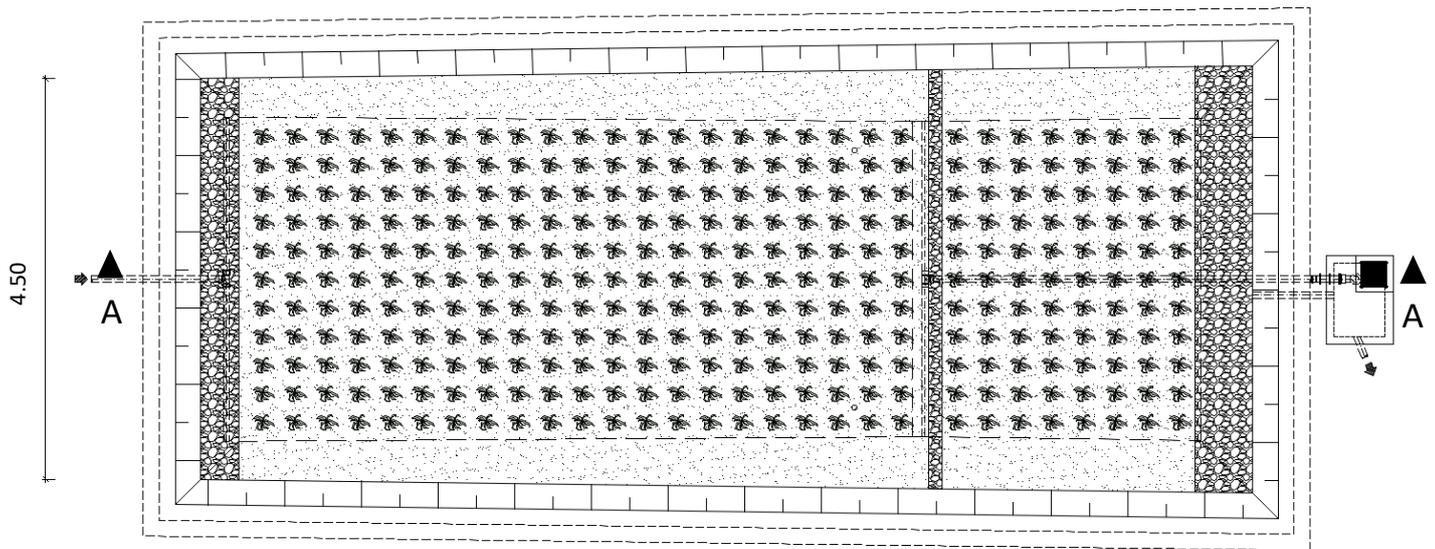


PLANTA (S/ ESC.)

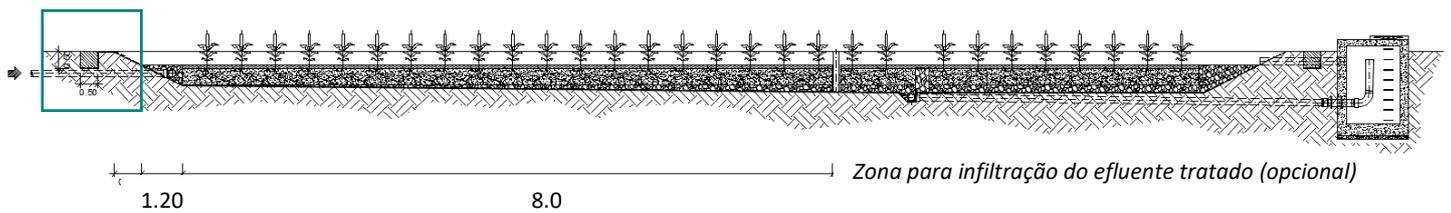


CORTE A-A

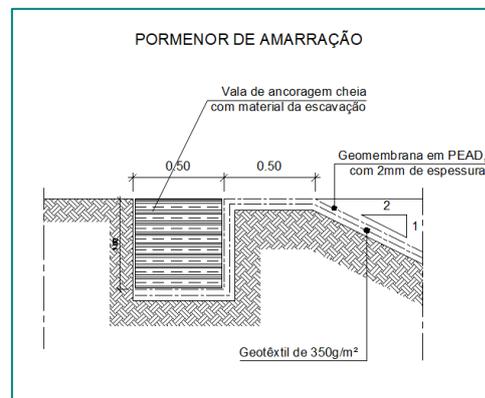
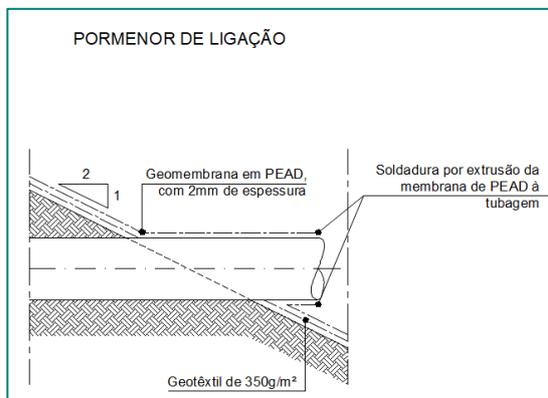
### 3. PLANTA E CORTES DE LEITO DE MACRÓFITAS



PLANTA (S/ ESC.)



CORTE A-A



PORMENORES

#### 4. PLANTA E CORTES DE LEITOS DE SECAGEM DE LAMAS (NÃO PLANTADOS)

