

**Potencial de reutilização de água em instalações militares.
O Caso de estudo da Academia Militar na Amadora.**

Pedro Pinto da Costa

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Militar

Orientadores: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão
Major de Engenharia Artur Jorge Espada Caracho

Júri

Presidente: Professor Doutor António Alexandre Trigo Teixeira
Orientador: Professora Doutora Ana Fonseca Galvão
Vogais: Professora Doutora Filipa Maria Santos Ferreira
Tenente-Coronel de Engenharia Carlos Alberto Rocha Afonso

Dezembro de 2016

Agradecimentos

A realização da presente dissertação é dedicada às pessoas que contribuíram não só para a realização da mesma, mas também para todos aqueles que acompanharam o meu percurso desde o início da minha formação.

Em primeiro lugar, quero agradecer à Academia Militar por me ter fornecido todas as ferramentas necessárias para a realização deste curso, possibilitando a concretização de um dos meus grandes objetivos de vida.

Agradeço, à minha orientadora, Professora Ana Galvão, pela orientação exemplar, motivação, dedicação, disponibilidade e apoio na realização desta dissertação, bem como por ter demonstrado curiosidade e interesse pelo âmbito militar.

Ao meu coorientador, Major de Engenharia Caracho, pela formação transmitida nos últimos anos, conselhos, indicações, disponibilidade e apoio fornecidos.

À professora Paula Figueiredo, pela simpatia, apoio, e ajuda na obtenção de informações para a realização desta dissertação.

Um especial agradecimento à minha família, pais e irmãos, que me acompanharam sempre no meu percurso, nunca esquecendo as palavras de força e coragem, que sustentaram a minha vontade de vencer, mesmo quando o percurso é difícil.

À Carlota, pela paciência e companheirismo ao longo da elaboração do trabalho.

Por último, quero agradecer a todos os meus amigos e camaradas, em especial aos camaradas do meu curso de Engenharia Militar, pela amizade, camaradagem e espírito de corpo demonstrados ao longo destes anos na superação das várias dificuldades, tornando possível a concretização deste objetivo.

Resumo

A presente dissertação de mestrado visou estudar soluções de reutilização de águas residuais tratadas, analisar a produção de águas residuais num dos edifícios do Aquartelamento da Academia Militar na Amadora e apresentar uma solução de tratamento, de forma a possibilitar que a água tratada possa ser reutilizada em algumas atividades militares.

Para integração no tema, foi feito um estudo dos diversos benefícios da reutilização de água e das condições atuais do saneamento em Portugal. Desta forma, foi possível entender a necessidade de adotar soluções que permitam a redução do consumo de água potável e perceber qual o nível de atendimento em Portugal no que diz respeito ao tratamento das águas residuais.

As águas residuais não tratadas apresentam características que provocam efeitos a nível ambiental e de saúde pública negativos. O tratamento destas águas é fundamental para que estes efeitos sejam minimizados o máximo possível. Atualmente, existem diversas formas de poder tratá-la, de modo a que apresente os requisitos qualidade necessários para que se possa reutilizar a água com segurança.

No caso de estudo, foi estudada uma solução de tratamento local de águas residuais através de uma ETAR com obra de entrada, fossa séptica, leito de macrófitas e sistema de desinfecção, de modo a permitir o tratamento do efluente residual estimado, para que posteriormente seja reutilizado nas cavalariças do Aquartelamento. Com o intuito final de se justificar a viabilidade económica da solução, foi realizado uma estimativa para custo da implementação desta solução, apresentando um valor de 121 000€. Este investimento é elevado, porém o período de retorno seria relativamente curto, cerca de dois anos. Além disto, numa estimativa feita a 5 e 10 anos, conseguir-se-ia uma poupança a rondar os 174 000€ e os 351 000€, respetivamente.

Palavras-chave: Aquartelamento da Academia Militar na Amadora; águas residuais; tratamento; reutilização; viabilidade económica.

Abstract

This master thesis aimed to study solutions to reuse treated wastewater, to analyze the production of wastewater in one of the buildings of the Military Academy in Amadora and also to present solutions in order to enable reuse of the treated water in some military activities.

For a deeper understanding of the situation was made a study about the benefits of water reuse and about current sanitation conditions in Portugal. Thus, it was also possible understand the need to adopt solutions that enable the reduction of drinking water consumption and realize the level of concern in Portugal regarding the treatment of wastewater.

Untreated wastewater have characteristics that can cause negative effects in environmental protection and public health. The treatment of these waters is essential to minimize those effects as much as possible. Currently, there are several methods to treat water that to ensure the quality characteristics allowing them to be reused safely.

In this study case, was assessed a local wastewater treatment composed by an ETAR with a grid chamber, septic tank, constructed wetlands and disinfection system to allow the treatment of the estimated residual effluent that is, subsequently, reuse in the stables.

With the intent of justify the economic viability of this solution, was performed an estimate for the cost of implementation with a value of € 121,000. This investment is high but the payback period would be relatively short, about two years. Furthermore, in the estimative made at 5 and 10 years, it would achieve a saving of around € 174,000 and € 351,000, respectively.

Key words: Quartering of the military academy in Amadora; wastewater; treatment; reuse; economic viability.

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo	III
Abstract.....	V
Índice	VII
Índice de tabelas	IX
Índice de figuras	XI
Lista de Abreviaturas.....	XIII
1 Introdução	1
1.1 Objetivos do Trabalho	2
1.2 Motivação	2
1.3 Organização	2
2 Enquadramento Geral.....	5
2.1 Importância da reutilização da água e seus benefícios	5
2.2 Águas residuais e saneamento	6
2.3 Sistemas de drenagem de águas residuais	6
2.4 Importância dos sistemas de drenagem na reutilização das águas residuais.....	8
2.5 Condição atual do saneamento em Portugal	8
2.5.1 PENSAAR 2020.....	12
2.5.1.1 Objetivo operacional 3.5: Valorização de recursos e subprodutos	14
2.5.1.2 Objetivo operacional 5.2: Inovação	15
3 Características das águas residuais, efeitos ambientais e sanitários no seu processo de reutilização	17
3.1 Características das águas residuais urbanas	17
3.2 Efeitos ambientais e sanitários da reutilização de águas residuais	18
3.2.1 Microrganismos patogénicos transportados pelas águas residuais.....	18
3.2.2 Poluentes químicos na composição química das águas residuais	23
4 Tipos de tratamento de águas residuais urbanas.....	25
4.1 Tratamento preliminar/Pré-tratamento	25
4.2 Tratamento Primário.....	26
4.3 Tratamento secundário.....	27
4.4 Tratamento terciário e/ou Tratamento avançado	28
4.5 Soluções de tratamento em pequenas aglomerações	29
4.5.1 Obra de entrada.....	30
4.5.2 Fossa séptica.....	31
4.5.3 Leito de macrófitas	32
4.5.3.1 Leitos de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal.....	33
4.5.4 Desinfecção do efluente secundário	36

5	Aplicações da reutilização das águas residuais tratadas	39
5.1	Reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola	40
5.1.1	Benefícios e desvantagens da reutilização das águas residuais tratadas em rega agrícola	43
5.2	Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística	43
5.3	Reutilização de águas residuais tratadas para a indústria.....	46
5.4	Reutilização de águas residuais tratadas para a recarga de aquíferos	47
5.5	Reutilização de águas residuais tratadas para usos ambientais e recreativos	51
5.6	Reutilização de águas residuais tratadas para usos urbanos não potáveis	53
6	Apresentação do caso de estudo – Aquartelamento da Academia Militar na Amadora	57
6.1	Descrição do edifício de alojamento de alunos.....	58
6.2	Determinação do caudal do efluente residual	58
7	Dimensionamento sumário do sistema de tratamento.....	61
7.1	Obra de entrada e fossa séptica	61
7.2	Leito de macrófitas	63
7.3	Desinfeção.....	65
8	Viabilidade económica da solução de tratamento	67
8.1	Estimativa de custos do sistema de drenagem das águas residuais.....	67
8.2	Estimativa de custos do sistema de tratamento das águas residuais.....	68
8.2.1	Obra de entrada e fossa séptica	68
8.2.2	Leito de macrófitas	69
8.2.3	Sistema de desinfeção	70
8.3	Estimativa de custos do sistema de abastecimento.....	70
8.3.1	Reservatório	70
8.3.2	Estação elevatória e tubagem de abastecimento	70
8.4	Custo total da solução em estudo	72
8.5	Viabilidade económica da solução adotada	73
9	Considerações finais.....	77
	Referências Bibliográficas	79
	Anexos.....	83
	Anexo A – Documentação de apoio à dissertação.....	85
	Anexo B – Obra de entrada e Fossa séptica de três compartimentos.....	91
	Anexo C – Leito de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal.....	93
	Anexo D – Desinfeção: SolarUV desinfection system (catálogo).....	95
	Anexo E – Infraestruturas do AAMA.....	97
	Anexo F - Plantas arquitetónicas e de esgotos do edifício de alojamento dos alunos	99
	Anexo G – Depósito horizontal para enterrar (catálogo)	101
	Anexo H – Implantação da solução em estudo	103

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Classificação de sistemas de águas residuais.....	7
Tabela 2.2 – Nível Médio de Cobertura Potencial Vertente em “Alta”.....	9
Tabela 2.3 – Nível de Cobertura Vertente em “Baixa”.....	9
Tabela 2.4 – Nível de cumprimento dos indicadores de qualidade de serviço definidos no PEAASAR II.	11
Tabela 2.5 – Eixos e Objetivos Operacionais do PENSAAR 2020.....	13
Tabela 2.6 – Valores de base atuais e indicadores com tendência crescente para anos futuros do objetivo operacional 3.5.....	15
Tabela 3.1 – Doenças e sintomas associados aos grupos patogénicos transportados pela água.	19
Tabela 3.2 – Concentração de patogénicos em águas residuais não tratadas.	20
Tabela 3.3 – Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais.....	21
Tabela 3.4 – Características epidemiológicas dos principais microrganismos patogénicos presentes nas ARU.	22
Tabela 3.5 – Vias de exposição consoante a utilização de ART.	23
Tabela 3.6 – Composição típica de ARU não tratadas.	24
Tabela 4.1 - Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas sujeitas ao disposto nos artigos 5.º e 6.º do Decreto Lei n.º 152/97.....	27
Tabela 4.2 – Tecnologias de tratamento para pequenos aglomerados.....	29
Tabela 4.3 – Sistemas de tratamento elegíveis para cada escalão populacional.	29
Tabela 4.4 – Relações dimensionais admissíveis de uma fossa séptica.	31
Tabela 4.5 – Principais funções das macrófitas no tratamento.	35
Tabela 4.6 – Mecanismos de remoção de poluentes em leitos de escoamento sub-superficial.....	35
Tabela 5.1 – Principais aplicações da ART inerente a cada categoria de utilização e as suas condicionantes.....	39
Tabela 5.2 – Parâmetros de natureza físico-química e microbiológica da qualidade de ART para rega.	42
Tabela 5.3 -Benefícios ambientais, económicos e desvantagens da reutilização das ART em rega agrícola.....	43
Tabela 5.4 – Espaços paisagísticos de acesso sem restrições e de acesso limitado.....	45
Tabela 5.5 – Vantagens e desvantagens da reutilização de ART em recarga de aquíferos.....	48
Tabela 5.6 – Métodos de recarga de aquíferos.	49
Tabela 5.7 – Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga.	50
Tabela 5.8 – Tipos de aplicações de ART para usos ambientais e recreativos.	51
Tabela 5.9 – Requisitos de qualidade da água a reutilizar para diversos usos ambientais e recreativos (VMA).....	52
Tabela 5.10 – Requisitos de qualidade de ART a reutilizar para diversos usos urbanos (VMA).	54

Tabela 5.11 – Requisitos de qualidade de ART utilizadas em descarga de autoclismos e lavagem de ruas.....	55
Tabela 6.1 – Quantidade de instalações no edifício.	58
Tabela 6.2 – Cálculo dos consumos no edifício de alojamento dos alunos.	59
Tabela 6.3 – Consumo total no edifício de alojamento dos alunos.....	60
Tabela 6.4 – Caudal do efluente residual.....	60
Tabela 7.1 – Valores das variáveis para o cálculo do volume da fossa séptica.....	62
Tabela 7.2 – Critérios de dimensionamento e cálculo do volume útil da fossa séptica.....	62
Tabela 7.3 – Dimensionamento da fossa séptica.	63
Tabela 7.4 – Determinação da CBO _a	64
Tabela 7.5 – Critérios de dimensionamento recomendados no dimensionamento de leitos de macrófitas.	65
Tabela 7.6 – Critérios de dimensionamento e cálculo da área mínima do leito.	65
Tabela 7.7 – Dimensões adotadas para o leito de macrófitas.	65
Tabela 8.1 – Estimativa do custo do sistema de drenagem.	67
Tabela 8.2 – Valores de custos da obra de entrada e da fossa séptica atualizados para o ano 2016.	68
Tabela 8.3 – Estimativa do custo do leito de macrófitas.	69
Tabela 8.4 – Consumo estimado nas cavalariças.	71
Tabela 8.5 – Custo de equipamento da estação elevatória.....	72
Tabela 8.6 – Custo da rede de abastecimento.	72
Tabela 8.7 - Custo de implantação da solução em estudo.	72
Tabela 8.8 – Estimativa do valor pago em água e saneamento pelo AAMA.	74
Tabela 8.9 – Comparação dos custos atuais e dos custos após a implantação da solução em estudo.	74
Tabela A.1 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens.....	85
Tabela A.2 - Eficiência de remoção de poluentes químicos consoante o tipo de tratamento.	86
Tabela A.3 - Exemplos no mundo de reutilização da ART em rega agrícola.	88
Tabela A.4 - Exemplos no mundo de reutilização da ART em rega paisagística.	88
Tabela A. 5 – Tolerância das plantas à salinidade.	89

Índice de figuras

Figura 2.1 – Acessibilidade física dos serviços de AA e de SAR em Portugal (1994 – 2011).	10
Figura 2.2 – Utilização interna e externa de ART.	12
Figura 2.3 – Visão e Objetivos Estratégicos e Operacionais do PENSAAR 2020.....	13
Figura 3.1 – Vias de exposição a microrganismos patogénicos em sistemas de reutilização de ART.23	
Figura 4.1 – Processo de Gradagem.	26
Figura 4.2 – Processos no pré-tratamento.....	26
Figura 4.3 – Decantador.....	27
Figura 4.4 – Lamas primárias.....	27
Figura 4.5 – Tanque Imhoff.	27
Figura 4.6 – Sequências de tratamento de águas residuais tecnicamente elegíveis (escala populacional inferior ou igual a 500 habitantes).....	30
Figura 4.7 – Secção transversal tipo de um leito de macrófitas.	32
Figura 4.8 – Exemplo de macrófitas utilizadas em leitos de escoamento sub-superficial.....	34
Figura 4.9 – Esquema de processamento do sistema de desinfecção <i>SolarUV Desinfection System</i> ..	38
Figura 5.1 - Possível tipo de tratamento para utilização da ART em rega agrícola.....	41
Figura 5.2 – Reutilização de ART em rega paisagística na Califórnia.....	44
Figura 5.3 – Reutilização de ART em rega paisagística na Florida.	44
Figura 5.4 – Possível tipo de tratamento para a utilização da ART em campos de golfe.	45
Figura 5.5 - Possível tipo de tratamento para a utilização da ART em água de arrefecimento.	46
Figura 5.6 – Possível tipo de tratamento para a utilização de ART em recarga de aquíferos.	48
Figura 5.7 – Métodos de recarga de aquíferos.	49
Figura 5.8 – Componentes de um sistema de recarga.	50
Figura 5.9 – Possível tipo de tratamento para utilização de ART em usos recreativos e ambientais. .	52
Figura 5.10 – Lavagem de veículos com água reutilizada.	53
Figura 5.11 – Descarga de autoclismo com água reutilizada.	53
Figura 5.12 – Hidratante abastecido por ART.....	53
Figura 6.1 – Localização do AAMA.	57
Figura 6.2 – Edifício de alojamento dos alunos.	58
Figura 6.3 – Edifício das cavalariças.....	58
Figura 6.4 – Interior das cavalariças.	58
Figura 8.1 – Tempo de retorno do investimento.	75
Figura A.1 - Matriz de processos de tratamento alternativos que têm sido aplicados nas águas residuais.....	87

Lista de Abreviaturas

AA – Abastecimento de água

AM – Academia Militar

AAMA – Aquartelamento da Academia Militar na Amadora

ART – Água residual tratada

ARU – Água residual urbana

CBO – Carência bioquímica de oxigénio

CQO – Carência química de oxigénio

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

ETA – Estação de tratamento de água

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

EUA – Estados Unidos da América

I.S – Instalações sanitárias

OMS – Organização Mundial de Saúde

PEAASAR – Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais

PEAD – Polietileno de alta densidade

PENSAAR 2020 - Uma nova estratégia para o setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais

PVC – Policloreto de vinilo

SAR – Saneamento de Águas Residuais

SDT – Sólidos dissolvidos totais

SST – Sólidos em suspensão totais

UE – União Europeia

UV – Ultravioleta

VMA – Valores Máximos Admissíveis

VMR – Valores Máximos Recomendado

1 Introdução

Desde sempre que o Homem tem uma forte dependência relativamente à água, pois esta condicionou a sua forma de vida, desde os locais escolhidos para se estabelecer, até à forma de como procurou explicar os fenómenos naturais. Nos dias de hoje, a preciosidade deste recurso natural está presente em múltiplas atividades, sendo utilizado para diversas finalidades desde o abastecimento doméstico e público até à produção de energia elétrica.

As necessidades da água vêm crescendo com o aumento da população mundial. Com o surgimento da Era Industrial a necessidade da água aumentou drasticamente. Este fator deve-se ao aumento da qualidade de vida e conseqüentemente a um aumento da população. Face a isto, inevitavelmente surge uma expansão urbanística que leva a um aumento significativo do consumo de água. Associado a este aumento populacional juntam-se a agricultura, a pecuária intensiva e a produção de energia elétrica, levando a crescentes exigências de água.

Desta forma, surge um problema à escala global que é a satisfação das necessidades de água. Além deste grave problema, coloca-se ainda outro que é a poluição da mesma. Esta surge em consequência da evolução tecnológica quer no uso doméstico, quer no uso industrial, através de produtos químicos variados e, ainda, no uso agrícola com a utilização de pesticidas e fertilizantes. Outra das principais fontes de poluição dos meios hídricos tem origem na descarga de efluentes domésticos. O controlo da poluição pode ser efetuado através da instalação de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), que promovem o tratamento, removendo diversas substâncias poluentes, de modo a produzir efluentes com características que permitam ser descarregadas nos meios recetores, protegendo a qualidade dos mesmos.

O investimento neste tipo de infraestruturas, privilegiou, no início, a construção de sistemas que satisfaçam populações de grandes dimensões, normalmente ligados a grandes centros urbanos, devido a razões de otimização de custo-benefício. No entanto, no decorrer do tempo, as exigências ambientais e de cumprimento de requisitos para a descarga de efluentes nos meios recetores, levou à necessidade de aumentar os níveis de atendimento às populações, não só nos grandes centros como também em zonas rurais. Uma das grandes dificuldades prende-se pelo facto de os sistemas de tratamento centralizados em pequenas aglomerações frequentemente não conduzirem a soluções economicamente viáveis. Neste contexto, a adoção de sistemas de tratamento descentralizados de saneamento, recorrendo a sistemas simplificados de drenagem e a soluções de tratamento dos efluentes, permite aumentar o nível de atendimento, apresentando uma relevância importante na evolução do setor. Desta forma é fundamental refletir sobre quais os tipos de tratamento mais adequados e sustentáveis para servir aglomerados de pequenas dimensões (Brito e Matos, 2013).

A reutilização de águas residuais para diversos fins é hoje encarada como um eixo fundamental da gestão sustentável dos recursos hídricos. Em Portugal ainda não existe uma prática generalizada de aproveitamento das águas residuais urbanas, porém em países como os Estados Unidos da América (EUA), esta prática já é recorrente e aplicada em diversos locais do país, permitindo uma redução significativa do consumo de água, caminhando para um desenvolvimento sustentável de todo o setor (Asano, et al., 2007);(Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a).

1.1 Objetivos do Trabalho

O principal objetivo da presente dissertação consiste na caracterização de soluções de reutilização de água, na análise dos consumos de água e produção de águas residuais em instalações militares e na apresentação de soluções para a sua reutilização. Além destes objetivos, foi estipulado um outro, que se prende com o dimensionamento sumário de uma solução possível de tratamento de águas residuais e no estudo da sua viabilidade económica.

1.2 Motivação

Nos dias de hoje, o consumo de água em algumas instalações militares é muito elevado, devido às particularidades do seu dia a dia, decorrentes das diversas atividades que nelas se praticam. Devido à conjuntura atual os orçamentos disponíveis nas instalações militares são muito diminutos. Os gastos em água e saneamento apresentam um valor consideravelmente elevado neste orçamento, pelo que a redução destes custos é primordial.

É fundamental alertar as instalações militares para o facto de a água ser um recurso natural cada vez mais escasso e que é possível adotar diversas medidas de uso eficiente da água, bem como soluções de tratamento economicamente viáveis, por forma a que seja possível a reutilização das águas tratadas em diversas aplicações onde não existe a necessidade da utilização de água potável. A maioria das instalações possuem uma área vasta, onde é possível a implantação de sistemas de tratamento das suas águas residuais, permitindo que tenham um sistema autossuficiente que abasteça vários pontos de consumo onde não é necessário o consumo de água potável.

Outros dos motivos para a realização desta dissertação consiste na necessidade de adoção de soluções verdes que visam proteger o ambiente e o futuro dos seres vivos, de modo a que se caminhe para um desenvolvimento sustentável do planeta.

1.3 Organização

Para além da introdução e da conclusão, a presente dissertação de mestrado encontra-se dividida em oito capítulos, seguindo-se a apresentação de anexos relevantes.

O segundo capítulo aborda fundamentalmente os problemas associados à escassez, ao acesso e ao controlo da qualidade da água, bem como a importância e os benefícios da sua reutilização para combater esta problemática.

O terceiro capítulo faz uma abordagem dos sistemas de drenagem de águas residuais, como também apresentar as condições atuais do saneamento em Portugal, de modo a entender quais as possibilidades de melhoria nestes sistemas de acordo com a perseverança do ambiente e do nível de atendimento à população.

O quarto capítulo aborda essencialmente as características das águas residuais, na perspetiva de enunciar os problemas que estas traduzem a nível ambiental e de saúde pública.

O quinto capítulo consiste na explicação dos vários níveis de tratamento existentes de águas residuais e da qualidade dos efluentes após o seu tratamento. É também apresentado possíveis soluções de tratamento de águas residuais para pequenas aglomerações de modo a que a implementação destes sejam economicamente viáveis, no que diz respeito aos custos da sua construção.

O sexto capítulo aborda as diversas possibilidades de reutilização da água tratada, bem como os requisitos de qualidade necessários, de modo a tornar os problemas ambientais e de saúde pública praticamente inexistentes.

O sétimo, oitavo e nono capítulos consistem na aplicação prática do conteúdo da dissertação, adaptado a um caso em estudo referente ao Aquartelamento da Academia Militar na Amadora (AAMA). No sétimo capítulo é feita uma descrição do aquartelamento e a determinação do caudal efluente residual proveniente de um dos seus edifícios. No oitavo capítulo é feito um dimensionamento simplificado de um sistema de tratamento que consiste no tratamento do efluente residual determinado no capítulo anterior. No nono e último capítulo é realizada uma análise económica da solução adotada, por forma a concluir se a solução escolhida é ou não economicamente viável.

2 Enquadramento Geral

2.1 Importância da reutilização da água e seus benefícios

Nos dias de hoje é primordial a reutilização da água. Esta é um recurso cada vez mais limitado, em que a sociedade já não se pode dar ao luxo de a utilizar apenas uma só vez, isto é, deverá ser usada, posteriormente tratada e finalmente reutilizada. Esta reutilização já começa a ser feita com grande frequência, visto que traz diversas vantagens a nível económico e, mais importante ainda, converge para um uso sustentável (Asano et al., 2007).

A água reutilizada acaba por ter diversas aplicações, conforme a sua qualidade e tratamento a que é sujeita. Esta pode ser utilizada dentro de muitas aplicações para irrigação, arrefecimento de máquinas industrial e para águas de limpeza, sem grandes custos associados. Isto vai de encontro a um uso mais eficaz e eficiente da água.

De forma a cumprir a meta da sustentabilidade dos recursos hídricos é necessário garantir que a água seja usada eficientemente. A reutilização de água permite o uso mais eficiente da energia e dos recursos naturais. Esta eficiência é possível quando a água é tratada com os requisitos necessários de acordo com a utilização final a que será sujeita. Um dos grandes benefícios desta reutilização é proteger o meio ambiente, reduzindo o volume de águas residuais descarregadas para as fontes hídricas, nas quais durante muitos anos eram descarregadas sem qualquer tipo de tratamento.

A reutilização da água, de uma forma geral, tem os seguintes benefícios (Asano et al., 2007):

- Conservação da água doce;
- Diminuição da degradação ambiental;
- Reforço da proteção dos meios aquáticos sensíveis, reduzindo as descargas de águas residuais não tratadas;
- Vantagens económicas, na perspetiva em que reduz o número de fontes suplementares de água necessárias e de infraestruturas associadas;
- A recolha da água passa a estar disponível perto dos centros urbanos, onde a fiabilidade de abastecimento é crucial e onde a água tem um preço mais elevado;
- Os nutrientes da água tratada podem ser utilizados na irrigação de terras agrícolas, reduzindo assim a necessidade de fertilizantes adicionais;
- Diminuição da poluição, ajudando a promover a indústria do turismo e da pesca.

De seguida, são enumerados diversos fatores subjacentes à reutilização da água (Asano et al., 2007):

- Proximidade: a recolha da água passa a estar prontamente disponível junto aos centros urbanos, onde os recursos hídricos são mais escassos e de preço elevado;
- Confiança: fiabilidade da água recolhida, mesmo em anos de seca, visto que a produção de águas residuais permanece quase constante ao longo de todo o ano;
- Versatilidade: os processos de tratamento da água estão técnica e economicamente comprovados, fazendo uso de uma água não potável para diversas aplicações e produzindo uma água que atenda aos requisitos de uma água potável;

- Segurança: os sistemas de reutilização de água não potável estão há várias décadas implementados e não apresentaram até os dias de hoje impactos negativos para a saúde pública;
- Competitividade: com o uso excessivo da utilização dos recursos hídricos, a reutilização da água torna-se preponderante para a preservação dos recursos;
- Interesse público: a consciencialização dos impactos ambientais associados ao uso excessivo dos recursos hídricos, leva a que a comunidade tenha interesse e entusiasmo na aceitação da utilização de águas reutilizadas;
- Impactos ambientais e económicos: maior reconhecimento dos custos ambientais e económicos de armazenamento de água, como barragens e reservatórios;
- Experiência comprovada: a reutilização da água tem obtido grande sucesso, levando à divulgação por todo o mundo das técnicas de tratamento e de soluções utilizadas;
- Necessidade e oportunidade: fator de motivação para resolver problemas como a seca, a escassez e a poluição, que necessariamente têm de ser resolvidos.

No entanto, importa referir algumas desvantagens que todo este processo de reutilização tem, nomeadamente (National Research Council, 2012):

- Obtenção de uma água de inferior qualidade;
- Investimento inicial elevado;
- Custos de manutenção e operacionalidade associados;
- Necessidade de espaço para reservatórios de armazenamento de água para reutilização.

2.2 Águas residuais e saneamento

Saneamento sustentável define-se como um sistema de saneamento que não seja apenas economicamente viável, sendo também socialmente aceitável, técnica e institucionalmente apropriado e que proteja o meio ambiente do excesso de uso recursos naturais (Bonaiti, Davy, Estrela, e Vargas, 2009).

Ao utilizar a água nas atividades domésticas, nomeadamente na confeção de alimentos e na higiene pessoal, o homem altera as suas características físicas, químicas e biológicas, dando origem às chamadas “águas de sabão” ou “águas cinzentas”. As águas residuais domésticas incluem não só as “águas de sabão”, mas também os “excreta”, resultantes dos processos digestivos. Estas águas devem ser drenadas por sistemas de drenagem, onde por vezes também podem afluir águas resultantes da atividade industrial e de estabelecimentos comerciais. Ao conjunto destas águas dá-se o nome de águas residuais ou, ainda, águas residuais comunitárias (Matos e Ferreira, 2014).

2.3 Sistemas de drenagem de águas residuais

De forma gradual, tem-se dado cada vez mais relevância ao processamento e destino final das águas residuais, muito por via da crescente dimensão, quer dos núcleos urbanos, quer da própria consciencialização do seu impacto no ambiente.

As redes de drenagem destas águas são convencionalmente constituídas por redes de coletores, que drenam essencialmente águas residuais domésticas, industriais e pluviais. As águas residuais domésticas provêm de instalações sanitárias, cozinhas e zonas de lavagem de roupas. Estas instalações são produtores de grandes quantidades de matéria orgânica, facilmente biodegradáveis mantendo ao longo do tempo as suas características. Na atividade industrial as águas residuais caracterizam-se pela vasta quantidade e diversidade de compostos físicos e químicos, consoante o tipo de processamento industrial e ainda apresentam uma grande variabilidade das suas características ao longo do tempo. As águas resultantes da precipitação atmosférica, bem como águas utilizadas para lavagem de arruamentos, parques de estacionamento e rega de espaços verdes são designadas como águas residuais pluviais. Estas caracterizam-se por apresentarem geralmente menores quantidades de poluentes, mais concretamente de matéria orgânica (Matos e Ferreira, 2014).

Os sistemas de drenagem diferem de acordo com o tipo de águas residuais que transportam, podendo ser classificadas de acordo com o Decreto nº 30/2003 de 1 de julho como:

- Separativos: sistemas constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada exclusivamente à drenagem das águas residuais domésticas e industriais, e outra destinada à drenagem das águas pluviais;

- Unitários: sistemas constituídos por uma única rede de coletores, onde são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, industriais e pluviais;

- Separativos parciais: sistemas separativos em que se admite, em condições excecionais a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas;

- Mistos: sistemas constituídos pela conjugação dos dois tipos anteriores, isto é, parte da rede de coletores funciona como sistema unitário e a restante como sistema separativo.

A classificação, as condições de escoamento e os respetivos objetivos principais de cada tipo de sistema é apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Classificação de sistemas de águas residuais.

TIPO DE SISTEMA	CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO	PRINCIPAIS OBJETIVOS
Separativos Domésticos	Com escoamento com superfície livre	São do tipo de coletores mais usual para o transporte de águas residuais, comerciais e industriais. Vulgarmente transportam, também, águas de infiltração e águas pluviais ou de lavagem, decorrentes de ligações erróneas.
	Sob pressão	As condutas sob pressão, por bombagem, são usadas quando se torna técnica e economicamente inviável ou desfavorável o recurso a soluções gravíticas de escoamento com superfície livre. No caso dos sistemas simplificados (também designados por sistemas de esgotos decantados ou sistemas de coletores de pequeno diâmetro) é aceitável o transporte gravítico sob pressão.
Separativos Pluviais	Escoamento com superfície livre (excecionalmente sob pressão)	Neste caso, são transportadas as águas de precipitação dos pavimentos, cobertura de edifícios e áreas impermeabilizadas em meio urbano. Não é permitida a ligação de águas residuais domésticas e o escoamento só excecionalmente se processa sob pressão.
Unitários	Escoamento com superfície livre (excecionalmente sob pressão)	Neste caso, a totalidade das águas residuais, incluindo águas pluviais, é transportada pelo sistema. Nos EUA, em Portugal e em muitos países da Europa, é rara. Atualmente, a construção de "raiz" não é frequente em novas urbanizações e empreendimentos.
Separativos Parciais	Escoamento com superfície livre	Neste caso, e excecionalmente, admite-se a ligação de águas pluviais aos coletores domésticos devido ao facto dessas águas não apresentarem condições de afluência gravíticas a coletores pluviais. É um tipo de sistema cuja construção de "raiz" não é frequente em novas urbanizações e empreendimentos.

Fonte: adaptado de Matos e Ferreira (2014).

2.4 Importância dos sistemas de drenagem na reutilização das águas residuais

Os diferentes sistemas de drenagem têm uma influencia muito importante quando se pretende reutilizar as águas residuais. Consoante o tipo de sistema de drenagem as águas residuais sofrem processos de tratamento diferentes. De forma exemplificativa, um sistema unitário que inclui os três tipos de águas, sem qualquer tipo de tratamento antes de lançadas para o sistema de drenagem público, leva a processos de tratamento de alto nível. O nível de tratamento para as águas residuais é tanto mais elevado quanto maior for a diversidade de águas existentes na rede de drenagem. As águas residuais devem ser tratadas antes de serem lançadas para os meios recetores, tais como rios, lagoas e oceanos. O efluente lançado deve cumprir requisitos de qualidade, que tem por objetivo a diminuição dos riscos ambientais e de saúde pública.

Quando pretendemos reutilizar as águas residuais, o custo de tratamento será sempre menor, caso essas águas provenham só de um tipo de águas, como por exemplo as domésticas. Além disso, permite a execução de projetos de tratamento mais económicos e a sua reutilização poderá abranger mais aplicações (por exemplo, rega paisagística e rega agrícola).

Assim, conclui-se que quanto mais separativo for o sistema de drenagem de águas residuais, maior será a facilidade de tratamento, menor o custo, maior a potencialidade de reutilização e menores serão os riscos ambientais e de saúde pública.

2.5 Condição atual do saneamento em Portugal

O saneamento básico em Portugal constitui um setor de particular atenção, no quadro da designada Indústria da Água e do Desenvolvimento do País.

Segundo a informação expressa no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais (PEAASAR II) são distinguidos os sistemas “em alta” de sistemas “em baixa” da seguinte forma (MAOTDR, 2007):

- Sistemas “em alta”: no abastecimento de água são as componentes que respeitam à captação, ao tratamento e à adução e, por vezes, aos reservatórios de entrega; no saneamento são, no todo ou nos trechos de jusante, os emissários, interceptores e estações elevatórias inerentes, e ainda, as estações de tratamento e os dispositivos e instalações de destino final dos efluentes;

- Sistemas “em baixa”: no abastecimento de água são as componentes que têm a ver com a distribuição, com os respetivos ramais de ligação, incluindo os reservatórios de entrega nos casos em que eles, por meras razões de acordos estabelecidos, não façam parte da “alta”; no saneamento são as redes de coletores com os ramais de ligação correspondentes, e as estações elevatórias inerentes a estas redes.

Relativamente à vertente em “alta” os níveis de cobertura potencialmente proporcionados pelos sistemas plurimunicipais deverão atingir, em média, 93% em abastecimento de água e 89% em saneamento de águas residuais. A Tabela 2.2 representa o nível médio de cobertura potencial de vertente em “alta” (MAOTDR, 2007).

Tabela 2.2 – Nível Médio de Cobertura Potencial Vertente em “Alta”.

NÍVEL MÉDIO DE COBERTURA POTENCIAL		
VERTENTE EM “ALTA”	AA	SAR
Multimunicipais	93%	90%
Municipais integrados	90%	76%
GLOBAL	93%	89%

AA – Abastecimento de Água
SAR – Saneamento de Águas Residuais

Fonte: MAOTDR (2007)

Quanto à vertente em “baixa”, e segundo as projeções disponíveis no PEAASAR II, estas apontam para níveis de atendimento às populações que se situam na ordem dos 93% em abastecimento de água e de 80% em tratamento de águas residuais. Uma das grandes dificuldades em cumprir estes objetivos reside no facto da implementação de soluções convencionais de drenagem de águas residuais nos aglomerados rurais e nos aglomerados urbanos de baixa densidade populacional ser bastante onerosa. Seguidamente é apresentada na Tabela 2.3 o nível de cobertura em vertente em “baixa” desde 1994 até 2006. Importa referir que a percentagem de tratamento de águas residuais na globalidade do território ainda se situa a cerca de 10% do objetivo fixado.

Tabela 2.3 – Nível de Cobertura Vertente em “Baixa”.

NÍVEL COBERTURA			
VERTENTE EM “BAIXA”	1994	1999	2006
Abastecimento de água	84%	88%	93%
Recolha de águas residuais	63%	72%	76%
Tratamento de águas residuais	32%	55%	80%

Fonte: MAOTDR (2007)

Assim, o PEAASAR II, cujo despacho de aprovação data de dezembro de 2006, desempenhou naturalmente um papel importante na estruturação de todo o setor. Na estratégia consagrada neste Plano foram definidos nove objetivos operacionais e propostas medidas de otimização de gestão nas vertentes em “alta” e em “baixa” bem como de otimização do desempenho ambiental do setor, tendo ainda, classificado o papel da iniciativa privada. Em seguida são mencionados alguns dos objetivos operacionais do PEAASAR II (MAOTDR, 2007):

- Servir cerca de 95% da população total do país com sistemas públicos de abastecimento de água;
- Servir cerca de 90% da população total do país com sistemas públicos de saneamento de águas residuais urbanas, sendo que em cada sistema integrado de saneamento o nível de atendimento desejável deve ser de pelo menos 70% da população abrangida;
- Garantir a recuperação integral dos custos incorridos dos serviços;
- Contribuir para a dinamização do tecido empresarial privado nacional e local;

- Cumprir os objetivos decorrentes do normativo nacional e comunitário de proteção do ambiente e saúde pública.

Após o PEAASAR II, por despacho nº 9304/2013 de 02 de julho, é criada a comissão de acompanhamento dos trabalhos com vista à elaboração do plano “PENSAAR 2020 – Uma nova estratégia para o setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais”. Este plano foi elaborado com base nas seguintes etapas:

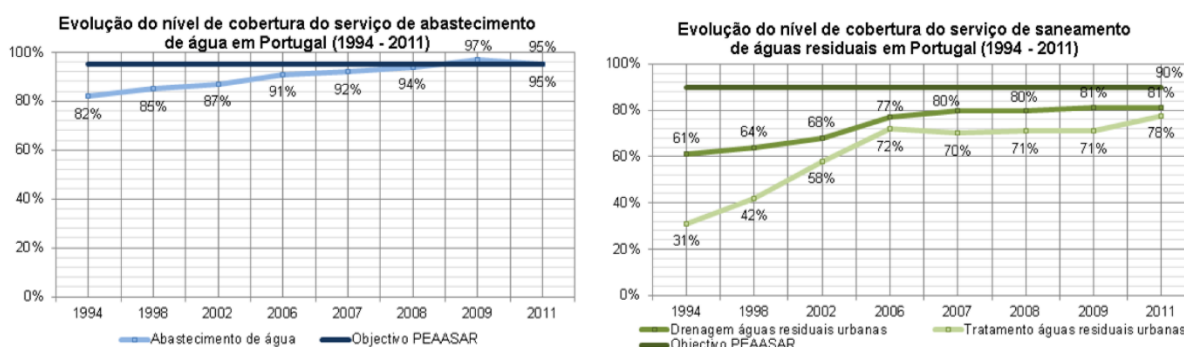
- Fase 1: Balanço do PEAASAR II e diagnóstico da situação atual (Situação de Referência);
- Fase 2: Visão, objetivos, indicadores, metas e cenários (Quadro Estratégico);
- Fase 3: Medidas, ações, investimentos e recursos financeiros, humanos e legais (Plano de Ação);
- Fase 4: Gestão, monitorização, atualização do plano e avaliação do seu desempenho (Plano de Gestão).

Relativamente aos objetivos operacionais do PEAASAR II, chegaram-se aos seguintes resultados relevantes para o PENSAAR 2020 (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a):

- O sucesso no aumento da acessibilidade do serviço de abastecimento de água (AA) à população, conseguindo-se atingir o serviço de 95% da população total do País com sistemas públicos de AA;

- O objetivo de servir 90% da população com sistemas públicos de saneamento de águas residuais (SAR) não foi atingido e considera-se que ele não deve constituir no futuro um objetivo em si, pois em zonas com uma densidade populacional muito baixa não se torna economicamente e socialmente sustentáveis. Contudo, o aumento do atendimento nestas zonas deverá contar com soluções técnicas individuais adequadas ou de baixo custo. Embora não se tenha conseguido atingir o objetivo do SAR, o investimento realizado teve uma repercussão positiva na qualidade de águas balneares, beneficiando o setor turístico e a qualidade de vida da população em geral.

Seguidamente é apresentada na Figura 2.1 a evolução do nível de cobertura do AA e do SAR entre 1994 e 2011. Entre 2007 e 2011 verifica-se que a taxa de cobertura de AA subiu cerca de 3%, atingindo o objetivo fixado do PEAASAR II de 95%. A cobertura dos SAR aumentou 8% no que se refere ao tratamento e 1% relativamente à recolha de águas residuais urbanas, atingindo níveis de cobertura de 78% e 81% respetivamente (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a).



Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014a)

Figura 2.1 – Acessibilidade física dos serviços de AA e de SAR em Portugal (1994 – 2011).

A Tabela 2.4 apresenta as metas fixadas no PEAASAR II relativamente aos indicadores de qualidade de serviço no AA e no SAR e em que situação se encontram esses indicadores em 2011, de forma a compreender melhor o panorama atual do saneamento de Portugal.

Tabela 2.4 – Nível de cumprimento dos indicadores de qualidade de serviço definidos no PEAASAR II.

ABASTECIMENTO DE ÁGUA (metas fixadas no PEAASAR II)		
Indicador	Meta	Situação 2011
Atendimento	≥ 95%	95%
Percentagem do número de alojamentos servidos por sistema público de abastecimento de água	(Variação: 80-100%)	(27%-100%)
Qualidade da Água		
Percentagem do número total de análises realizadas à água tratada cujos resultados estão conformes com a legislação	≥ 99%	98%
Eficiência		
Percentagem de água entrada no sistema que é efetivamente utilizada e não perdida por fugas e extravasamentos	≥ 80%	76%
Segurança		
Percentagem de água entrada no sistema que provém de captações com perímetro de proteção/ plano de ordenamento de albufeira de águas	≥ 95%	53%

SANEAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS (metas fixadas no PEAASAR II)		
Indicador	Meta	Situação 2011
Atendimento	≥ 90%	81%
Percentagem do número de alojamentos servidos por sistema público de saneamento de águas residuais	(Variação: 70-100%)	(20%-100%)
Qualidade da Água		
Percentagem da população equivalente servida por sistema público de saneamento de águas residuais que asseguram o cumprimento da legislação em termos de descarga de acordo com a respetiva licença	≥ 80%	89%
Sustentabilidade		
Percentagem de utilização de águas residuais tratadas	≥ 10%	0,1%
Eficiência + Sustentabilidade		
Percentagem de águas pluviais e de infiltração afluentes aos sistemas de drenagem	≤ 20%	≥ 40%

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014a)

Atualmente em termos de valor médio nacional, o saneamento de águas residuais em Portugal tem níveis de acessibilidade física aos serviços de SAR da ordem de 81%. Destes 81%, 78% são encaminhadas para Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), significando que 3% da população está servida por rede de coletores sem ETAR. Consoante a tipologia da área de intervenção, as taxas de acessibilidade física diferem de rural para urbana (de 95% nas áreas predominantemente urbanas, para 77% nas áreas medianamente urbanas e 69% nas áreas predominantemente rurais) (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a).

A utilização de águas residuais tratadas (ART) é bastante importante numa vertente de gestão de recursos hídricos. A utilização deste tipo de águas deve ser ponderada do ponto de vista ambiental e económico. Em 2011, de acordo com os dados recolhidos da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR) reutilizaram-se 6,1 milhões de metros cúbicos de água residual, correspondente a apenas 0,1% das águas residuais coletadas. Estes dados são deveras insuficientes perante a meta estipulada de atingir uma percentagem de utilização de 10% de ART (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a). Tal facto é justificado pelas seguintes razões (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014a):

- A disponibilidade de outras opções de água bruta a preços reduzidos;

- As autorizações de extração de água em zonas de stress hídrico não fornecem incentivos suficientes para a reutilização em detrimento da água bruta;
- Os custos elevados associados ao transporte e garantia de qualidade da água reutilizada;
- A desconfiança por parte dos utilizadores em relação à qualidade do produto e restrições ao uso de água residuais reutilizadas;
- A falta de legislação adequada ao fim em vista.

A Figura 2.2 representa a distribuição percentual do volume de ART utilizada para uso próprio e fornecida a outra entidade.



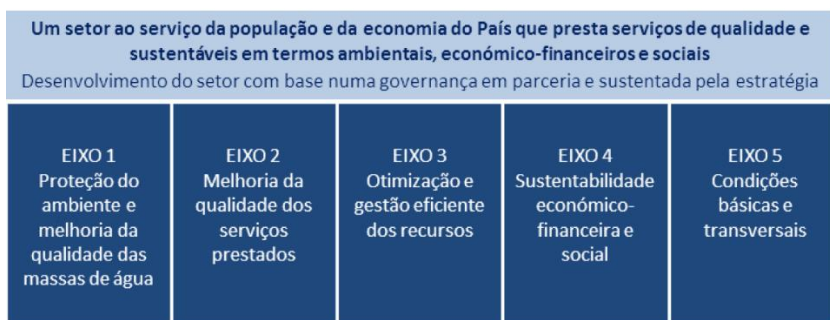
Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014a)

Figura 2.2 – Utilização interna e externa de ART.

Conclui-se desta forma, que nesta área é necessário um aumento significativo de utilização de ART de modo a cumprir a meta estabelecida pelo PEAASAR II. Como tal, torna-se como principal objetivo desta dissertação de mestrado contribuir para uma melhoria neste sentido, embora seja aplicado numa pequena comunidade.

2.5.1 PENSAAR 2020

Após o balanço do PEAASAR II referido no anterior capítulo, importa explicar alguns dos objetivos operacionais e estratégicos definidos pelo PENSAAR 2020 a cumprir até o ano 2020. Nesta nova estratégia foram definidos 5 objetivos estratégicos também designados por Eixos que suportam a visão para o setor, constituindo os pilares de uma estratégia setorial a implementar no período de 2014 a 2020. A Figura 2.3 revela quais os 5 objetivos estratégicos do PENSAAR 2020.



Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014b)

Figura 2.3 – Visão e Objetivos Estratégicos e Operacionais do PENSAAR 2020.

Cada eixo estratégico do PENSAAR 2020 é composto por objetivos operacionais. Seguidamente é explanado na Tabela 2.5 os objetivos operacionais inerentes a cada eixo estratégico.

Tabela 2.5 – Eixos e Objetivos Operacionais do PENSAAR 2020.

Eixo 1: Proteção do ambiente, melhoria da qualidade das massas de água
Objetivo Operacional 1.1: Cumprimento do normativo
Objetivo Operacional 1.2: Redução da poluição urbana nas massas de água
Objetivo Operacional 1.3: Aumento de acessibilidade física ao serviço de SAR
Eixo 2: Melhoria da qualidade dos serviços prestados
Objetivo Operacional 2.1: Melhoria da qualidade do serviço de AA
Objetivo Operacional 2.2: Melhoria da qualidade do serviço de SAR
Eixo 3: Otimização e gestão eficiente dos recursos
Objetivo Operacional 3.1: Otimização da utilização da capacidade instalada e aumento da adesão ao serviço
Objetivo Operacional 3.2: Redução das perdas de água
Objetivo Operacional 3.3: Controlo de afluições indevidas
Objetivo Operacional 3.4: Gestão eficiente de ativos e aumento da sua reabilitação
Objetivo Operacional 3.5: Valorização de recursos e subprodutos
Objetivo Operacional 3.6: Alocação e uso eficiente dos recursos hídricos
Eixo 4: Sustentabilidade económico-financeira e social
Objetivo Operacional 4.1: Recuperação sustentável dos gastos
Objetivo Operacional 4.2: Otimização e/ou redução dos gastos operacionais
Objetivo Operacional 4.3: Redução da água não faturada
Eixo 5: Condições básicas e transversais
Objetivo Operacional 5.1: Aumento da disponibilidade de informação
Objetivo Operacional 5.2: Inovação
Objetivo Operacional 5.3: Melhoria do quadro operacional, de gestão e prestação de serviços
Objetivo Operacional 5.4: Alterações climáticas, catástrofes naturais, riscos - redução, adaptação
Objetivo Operacional 5.5: Externalidades: emprego, competitividade, internacionalização

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014b)

É importante abordar alguns objetivos operacionais no âmbito deste trabalho, referindo algumas metas a cumprir de forma a melhorar todo o setor, mais concretamente no que diz respeito às águas residuais. Os objetivos operacionais que serão abordados são:

- Objetivo operacional 3.5: Valorização de recursos e subprodutos;
- Objetivo operacional 5.2: Inovação;

O PENSAAR 2020 propõe um conjunto importante de indicadores para cada um destes objetivos operacionais, com o propósito de servir na sua grande maioria, de avaliação do progresso do Plano. Para estes indicadores são definidos valores de base atuais e metas que se pretende atingir.

Nos subcapítulos seguintes serão abordados os objetivos operacionais em questão de forma sucinta, explanando os valores de base atuais e metas a atingir para cada um deles.

2.5.1.1 Objetivo operacional 3.5: Valorização de recursos e subprodutos

A valorização dos subprodutos é um objetivo fulcral nos próximos anos, de modo a que sejam assegurados níveis acrescidos de ecoeficiência através da valorização de subprodutos gerados pelo tratamento da fase líquida: lamas com valor para outros usos, ART e energia potencial (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

A reutilização de ART carece ainda de estudos de viabilidade e de risco de utilização, que deverão ter em conta que a procura aumenta a par do aumento da escassez de água e a ausência ou custo de outras alternativas. O aumento da reutilização está sempre dependente das possibilidades de utilização que permite (regadio, indústria, turismo e gestão urbana de espaços verdes), bem como do custo das alternativas de oferta. Uma das grandes dificuldades da reutilização da água para diversos usos prende-se pelo fato de depender de soluções onerosas comparativamente com o uso da água proveniente das águas superficiais, subterrâneas ou do mar (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

O principal subproduto resultante do processo de tratamento de águas residuais são as “lamas de ETAR”. O destino final deste tem sido principalmente na valorização agrícola. Porém há cada vez mais dificuldade em aplicar as lamas de ETAR na agricultura, pela redução de área agrícola e as maiores condicionantes na fertilização de culturas, pelo aumento da oferta de outros produtos concorrentes e ainda pelo incremento nas exigências legais associadas à valorização agrícola de lamas. Outro dos fatores assenta na recomendação da mudança do paradigma da visão das lamas de ETAR como um resíduo, na visão mais tradicional, para uma visão de recurso valorizável, melhorando a eficiência económica e ambiental do ciclo urbano da água (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

As “lamas de ETA” são um subproduto resultante do processo produtivo de água potável. Estas por sua vez apresentam quantitativos, características e destinos totalmente distintos das lamas de ETAR. A produção de lamas de ETA é significativamente inferior à produção de lamas de ETAR, que por sua vez não apresentam características que permitam a sua valorização agrícola, sendo mais utilizadas para aterro. Contudo, existem um conjunto de boas práticas implementadas com o intuito da utilização deste subproduto como recurso, particularmente na indústria cerâmica e cimenteira, garantindo a sustentabilidade da gestão deste tipo de lamas (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

Outro aspeto fundamental é a valorização das lamas aproveitando o seu potencial energético. Estas, principalmente as lamas de ETAR, podem ser utilizadas na produção de biogás com base na digestão anaeróbia, levando a uma redução do consumo de energia elétrica nos sistemas de SAR. Esta redução de consumo ainda pode ser mais significativa, caso sejam utilizadas tecnologias de pré-tratamento das lamas a montante dos digestores, bem como se forem empregues métodos avançados de secagem das lamas digeridas, por exemplo com energia solar, tendo em vista valorização térmica (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

De forma a conseguir uma melhoria significativa na valorização destes recursos e subprodutos, o PENSAAR 2020 define diversas medidas, destacando-se as seguintes:

- Intervenções com vista ao aumento da utilização de ART, com viabilidade do ponto de vista técnico-económico e ambiental;
- Criação de condições ambientais prévias à valorização das lamas;
- Promoção da valorização das lamas;
- Melhorias ao nível do tratamento da fase sólida de ETAR e ETA visando a otimização do processo dos pontos de vista ambiental, económico e técnico e a valorização das lamas;
- Promoção do aproveitamento da capacidade de produção de energia nos sistemas de AA e SAR (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

Seguidamente é possível verificar na Tabela 2.6 as metas definidas a atingir, pelo que se espera que haja sempre uma tendência crescente face aos valores atuais.

Tabela 2.6 – Valores de base atuais e indicadores com tendência crescente para anos futuros do objetivo operacional 3.5.

Objetivo Operacional	Indicador	% de Alojamentos com avaliação satisfatória (verde e amarelo) (baseline)	Meta	Valor do Indicador ERSAR (2011)
EIXO 3: OTIMIZAÇÃO E GESTÃO EFICIENTE DOS RECURSOS				
Objetivo Operacional 3.5: Valorização de recursos e subprodutos	1. Água residual reutilizada/ água residual recolhida (%) ((dAR24+dAR25)/(dAR23))	alta + baixa : 0,1%	Tendência crescente (Indicador de evolução)	-
	2. % de lamas valorizadas relativamente a volumes produzidos	49%	Tendência crescente (Indicador de evolução)	-
	3. Produção própria de energia/ consumo de energia (%) (dAA28/dAA29 e dAR27/dAR28)	AA (alta + baixa): 0,18% AR (alta + baixa): 3,84%	Tendência crescente (Indicador de evolução)	-

Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (2014b)

2.5.1.2 Objetivo operacional 5.2: Inovação

No âmbito da inovação é necessário que se promovam sinergias entre entidades gestoras com necessidades semelhantes, devendo estas cooperar entre si evitando duplicação de esforços. É necessário também que estabeleçam parcerias com entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional orientadas para o desenvolvimento e aplicação de produtos, como também de conhecimento estratégico (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

Um dos exemplos de inovação é o desenvolvimento de estudos para determinar as condições de viabilidade técnica e económica da otimização da utilização da capacidade de tratamento instalada através da introdução de efluentes altamente concentrados oriundos de setores industriais. Outra inovação de grande valor acrescentado é a criação de um produto que enquadrasse a valorização agronómica das lamas com níveis de segurança elevados e transparente (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

É necessário que a inovação seja direcionada no sentido de reforçar a análise de novas formas de valorização e destino final dos recursos e subprodutos, dentro de um quadro de adequada proteção ambiental, minimizando os custos a imputar aos setores produtivos e ao ciclo urbano da água (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b).

Os investimentos em inovação devem contemplar a gestão do risco operacional e resiliência, bem como a gestão de sistemas descentralizados de AA e SAR.

Assim, são tomadas medidas de modo a promover a inovação no setor. As medidas estabelecidas pelo PENSAAR 2020 são (Agência Portuguesa do Ambiente, 2014b):

- Promoção do aumento do investimento das empresas na inovação;
- Reforço das parcerias entre empresas e centros de investigação alinhadas com as necessidades do setor;
- Desenvolvimento de projetos de inovação em áreas prioritárias.

Por fim, este objetivo visa a aumentar o número de programas/parcerias entre entidades públicas e privadas com centros de investigação e de ensino. Não é definida uma meta concreta a atingir, pelo que deve haver uma evolução/aumento do número de programas/parcerias considerável até 2020, melhorando todo o setor.

3 Características das águas residuais, efeitos ambientais e sanitários no seu processo de reutilização

As águas residuais provenientes das estações de tratamento possuem produtos químicos e microbiológicos que não são removidos na sua totalidade ou inativados após tratamento. Estes produtos poderão resultar em alguns riscos para a saúde pública e para o ambiente. Para avaliar estes riscos é necessário identificar os constituintes químicos e biológicos que podem causar efeitos gravemente prejudiciais para a saúde pública e para o ambiente. Ao longo dos últimos 30 anos têm sido desenvolvidos métodos quantitativos para avaliar os potenciais riscos. Neste capítulo, será feita uma descrição sumária dos constituintes das águas residuais não tratadas e a percentagem da sua possível remoção em estações de tratamento, de forma a conseguir avaliar as características químicas e microbiológicas das ART disponíveis para reutilização (Monte e Albuquerque, 2010).

A informação descrita nos subcapítulos seguintes provém essencialmente de (Monte e Albuquerque, 2010), tendo sido complementada com outras fontes onde é indicado.

3.1 Características das águas residuais urbanas

Como já foi referido, as águas residuais urbanas (ARU) são águas residuais domésticas ou a mistura destas com águas residuais industriais e pluviais, consoante o tipo de sistema de drenagem que lhe é inerente. As ARU contêm substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas na água. Estas substâncias podem ter origem em diversos tipos de atividades, como a atividade doméstica, comercial, industrial, entre outras. Destas atividades resulta uma complexa mistura de substâncias, constituídas por numerosos microrganismos de diversos tipos, muitos de origem fecal e outros patogénicos. Contudo, as substâncias dissolvidas e em suspensão coloidal representam apenas 0,1% da composição das ARU.

As ARU na sua maioria são sujeitas a um tipo de tratamento convencional, denominado vulgarmente de “tratamento secundário” (Monte e Albuquerque, 2010). Sucintamente, este tratamento consiste num processo biológico, onde a matéria orgânica é consumida por microrganismos aeróbios e posteriormente sedimentada (Asano et al., 2007).

O tratamento secundário não permite remover na totalidade os constituintes prejudiciais das águas residuais. As águas, após passarem pelo tratamento secundário, são lançadas no meio recetor, geralmente para uma massa de água superficial, como também para o solo em casos menos frequentes. Ao serem lançadas nestes meios recetores, torna-se possível atingirem as águas subterrâneas. Quando atingem as águas subterrâneas, existe uma pequena probabilidade de estas ficarem contaminadas, especialmente por microrganismos patogénicos. São estes microrganismos que podem causar problemas de saúde pública (por exemplo, quando existe captação direta das águas subterrâneas). Os compostos não biodegradáveis, mais persistentes no ambiente, também são originadores de alguns impactes ambientais cumulativos e adversos para os ecossistemas e mesmo para o homem.

A caracterização das águas residuais urbanas é sistematizada em três grandes grupos de características: físicas, químicas e biológicas. No Anexo A, na Tabela A.1 são apresentados os principais parâmetros indicadores destas características e as principais vias da sua proveniência.

3.2 Efeitos ambientais e sanitários da reutilização de águas residuais

Como já referido no subcapítulo anterior, as ART ainda contêm uma pequena quantidade de microrganismos patogénicos e compostos químicos em concentração, quantidade esta que é sempre tanto mais reduzida quanto mais elevado o nível de tratamento a que forem sujeitas. Contudo, devido a uma pequena percentagem destes constituintes após tratamento, acabam por tornar os riscos ambientais e sanitários praticamente inexistentes. Este facto é justificado pelo controlo adequado aquando o seu tratamento. Porém, quando certas substâncias são removidas de forma insuficiente no processo de tratamento, podem provocar doenças nos seres humanos e nos animais (por exemplo, através da ingestão ou pelo contacto com o corpo), bem como afetar o ambiente.

3.2.1 Microrganismos patogénicos transportados pelas águas residuais

A água reutilizada constitui um meio de transmissão de doenças pela eventual presença de microrganismos patogénicos, sendo esta uma das mais importantes preocupações em projetos de reutilização. A água é portadora de grandes quantidades de microrganismos (bactérias, algas, protozooides, fungos, vírus e crustáceos), mas que na sua grande maioria são ubíquos e inofensivos para o homem. Contudo, alguns microrganismos são patogénicos e têm a água como um veículo privilegiado de transmissão de diversas doenças. Nos países subdesenvolvidos devido ao precoce tratamento ou mesmo a falta deste, têm causado principalmente na população infantil uma elevada taxa de mortalidade.

Os microrganismos patogénicos presentes nas águas naturais provêm das excreções (fezes e urina) de pessoas infetadas¹, lançadas nas águas domésticas, industriais (em águas que transportam resíduos análogos de origem animal, por exemplo em matadouros e indústrias agropecuárias) e de águas residuais pluviais. A probabilidade da existência destes microrganismos patogénicos é sempre maior em sistemas de drenagem unitários, visto que existe mistura destes três tipos de águas residuais.

Os patogénicos suscetíveis de disseminação no ambiente presentes nas águas residuais são classificados pelos seguintes grupos: bactérias, protozoários, helmintas e vírus.

Seguidamente é apresentada na Tabela 3.1 uma lista dos géneros de patogénicos mais vulgares nas águas residuais dentro dos quatro referidos grupos, bem como as doenças e sintomas a que dão origem.

¹ Os microrganismos patogénicos são excretados tanto por pessoas que já desenvolveram a doença, como pelos chamados “portadores sãos” que, embora infetados, não manifestam sintomas de doença.

Tabela 3.1 – Doenças e sintomas associados aos grupos patogênicos transportados pela água.

Grupo	Microrganismo patogênico	Doença e sintomas
Bactérias	<i>Campylobacter jejuni</i>	Gastroenterite.
	<i>E. coli</i> patogênica	Enterite, diarreia.
	<i>Salmonella</i> <i>S. typhi</i> <i>S. paratyphi</i> Outras espécies	Febre tifóide. Febre paratífóide. Salmoneloses.
	<i>Shigella</i> spp. <i>Vibrio cholerae</i> Outros vibriões	Desintéria bacilar. Cólera.
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite e septicemia.
Protozoários	<i>Balantidium coli</i>	Diarreia, desintéria e úlcera do cólon.
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Úlcera do cólon, desintéria amibiana e abscesso do fígado.
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia e má absorção.
Helmintas	<i>Ancylostoma uodenal</i>	Ancilostomíase.
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase.
	<i>Enterobius vermicularis</i>	Enterobiíase.
	<i>Hymenolepis nana</i>	Himenolepiase.
	<i>Necator americanus</i>	Ancilostomíase.
	<i>Strongyloides stercoralis</i>	Estrongiloidíase.
	<i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	Teníase.
	<i>Trichuris trichura</i>	Tricuríase.
Vírus	Enterovírus	
	Poliovírus	Paralisia, meningite asséptica.
	Coxsackievírus	A – Paralisia, meningite asséptica, febres, doenças respiratórias. B – Paralisia, meningite asséptica, pericardites, miocardites, doenças cardíacas congênitas, pleurodinia.
	Ecovírus	Infecções respiratórias, meningite asséptica, diarreia, pericardite, miocardite, prurido, febre.
	Reovírus	Doenças respiratórias, gastroenterites.
	Adenovírus	Conjuntivite aguda, diarreia, doenças respiratórias.
	Rotavírus	Gastroenterite infantil.
	Vírus da hepatite A e E	Hepatite A.
Calivírus	Gastroenterites, diarreias.	

Fonte: Monte e Albuquerque (2010).

A quantidade e a tipologia dos microrganismos patogênicos nas ARU são muito variáveis, tanto ao longo do tempo, como de local para local e de um aglomerado populacional para outro. Numa determinada localidade a quantidade e tipo dos microrganismos presentes nas águas residuais dependem principalmente do estado de saúde da população e de fatores condicionantes da sobrevivência dos microrganismos nas águas residuais. Um indivíduo excreta uma quantidade muito elevada de microrganismos (patogênicos e não patogênicos), quantidade esta da ordem de muitos milhões por grama de fezes. Contudo, a sua concentração acaba por ser reduzida nas águas residuais não tratadas por diluição e pelo decaimento natural dos microrganismos, visto que assim que se dá a excreção, os microrganismos ficam fora do seu *habitat* natural. De forma mais elucidativa é apresentada na Tabela 3.2 os valores da carga excretada e da concentração típica em águas residuais não tratadas de alguns patogênicos comuns em águas residuais.

Tabela 3.2 – Concentração de patogênicos em águas residuais não tratadas.

	Microrganismo	Carga excretada (nº/g fezes)	Concentração típica em águas residuais não tratadas (NMP/100 mL)
Bactérias	Coliformes totais		10 ⁷ -10 ⁹
	Coliformes fecais		10 ⁵ -10 ⁸
	<i>Clostridium perfringens</i>		10 ³ -10 ⁵
	<i>Enterococi</i>		10 ⁴ -10 ⁵
	Estreptococos fecais		10 ⁴ -10 ⁶
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		10 ³ -10 ⁶
	<i>Shigella</i>	10 ⁷	10 ³ -10 ³
	<i>Salmonella</i>	10 ⁸	10 ² -10 ⁴
Protozoários	Cistos de <i>Cryptosporidium parvum</i>		10 ¹ -10 ⁵
	Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	10 ⁵	10 ³ -10 ⁵
	Cistos de <i>Giardia lamblia</i>	10 ⁵	10 ¹ -10 ⁴
Helmintas	Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	10 ⁴	10 ⁰ -10 ³
Vírus	Vírus entéricos	10 ⁷	10 ³ -10 ⁴
	Colifagos		10 ² -10 ⁴

Fonte: Monte e Albuquerque (2010).

As ETAR têm um papel fundamental na diminuição dos riscos que as águas residuais podem provocar no ambiente e na saúde pública. Além do primordial objetivo das ETAR ser a remoção de poluentes químicos, estas também acabam por reduzir a quantidade de microrganismos de origem fecal, mas muito incipiente, da ordem de 1 a 2 unidades logarítmicas. Consoante o tipo de tratamento a que as águas residuais estão sujeitas é removida uma quantidade diferente de microrganismos, sendo que é tanto maior quanto melhor o nível de tratamento. O tratamento primário é o que remove uma quantidade menor e o tratamento avançado o que remove a máxima quantidade possível de microrganismos.

De seguida, a Tabela 3.3 apresenta a eficiência de remoção microbiana dos diversos processos de tratamento das águas residuais.

Tabela 3.3 – Eficiência de remoção microbiana por processo de tratamento de águas residuais.

Microrganismos	Remoção de microrganismos por processo de tratamento (unidades logarítmicas)					
	Primário	Secundário		Terciário		Avançado
	Decantação não assistida	Lamas activadas	Leitos percoladores	Filtração	Desinfecção	Osmostose inversa
Coliformes fecais	<0,1-0,3	0-2	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Salmonella</i>	<0,1-2	0,5-2	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0,2-0,4	0-1	0,5-2	0-1	1-4	4-7
<i>Shigella</i>	<0,1	0,7-1	0,8-2	0-1	1-4	4-7
<i>Campylobacter</i>	1	1-2		0-1	1-4	4-7
<i>Cryptosporidium parvum</i>	0,1-1	1		0-3	1-4	4-7
<i>Entamoeba histolytica</i>	0-0,3	<0,1	<0,1	0-3	2-6	>7
<i>Giardia lamblia</i>	<1	2		0-3	2-6	>7
Ovos de helmintas	0,3-1,7	<0,1	1	0-4	2-6	>7
Vírus entéricos	<0,1	0,6-2	0-0,8	0-1	2-6	4-7

Fonte: Monte e Albuquerque (2010).

Os microrganismos contidos nas águas residuais apresentam características epidemiológicas variáveis, que são a persistência², a latência³ e a dose infetante⁴. Estas características originam riscos potenciais diferentes, estando dependentes da suscetibilidade da população exposta, calculada pelo seu nível de imunidade e estado de saúde. A Tabela 3.4 apresenta as características epidemiológicas dos microrganismos mais frequentes nas ARU.

² Persistência: característica que avalia a sobrevivência do microrganismo fora do corpo humano (fora do seu *habitat*).

³ Latência: intervalo de tempo decorrido entre a excreção de um patogénico e a infeção de um novo hospedeiro vertebrado.

⁴ Dose infetante: representa a quantidade de um determinado microrganismo que um indivíduo necessita de ingerir para ficar doente.

Tabela 3.4 – Características epidemiológicas dos principais microrganismos patogénicos presentes nas ARU.

Patogénico	Carga excretada ^a	Latência ^b	Persistência ^c	Dose infecciosa mediana (DI ₅₀)
VÍRUS				
Enterovírus ^d	10 ⁷	0	3 meses	1 – 10
Vírus hepatite A	10 ⁶	0	?	Baixa (?)
Rotavírus	10 ⁶	0	?	Baixa (?)
BACTÉRIAS				
<i>Campylobacter fetus ssp. jejuni</i>	10 ⁷	0	7 dias	Elevada (?)
<i>E. coli</i> patogénica	10 ⁸	0	3 meses	10 ⁶ – 10 ¹⁰
<i>Salmonella typhi</i>	10 ⁸	0	2 meses	Elevada
outras salmonelas	10 ⁸	0	3 meses	Elevada
<i>Shigella spp.</i>	10 ⁷	0	1 mês	10 – 20
<i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁷	0	1 mês (?)	Elevada
<i>Yersinia enterocolitica</i>	10 ⁵	0	3 meses	Elevada (?)
PROTOZOÁRIOS				
<i>Giardia lamblia</i>	10 ⁵	0	25 dias	< 20
<i>Entamoeba histolytica</i>	10 ⁵	0	25 dias	10 – 20
<i>Balantidium coli</i>	?	0	?	Baixa (?)
<i>Cryptosporidium</i>				1 – 10
HELMINTAS				
<i>Trichuris trichura</i>	10 ³	20 dias	9 meses	Baixa
<i>Ascaris lumbricoides</i>	10 ⁴	10 dias	1 ano	1 – 10
<i>Enterobius vermicularis</i>	*	0	7 dias	Baixa
<i>Hymenolepis nana</i>	?	0	1 mês	Baixa
<i>Taenia saginata</i> e <i>Taenia solium</i>	10 ⁴	2 meses	9 meses	Baixa

Baixa (< 10³); Média (1-10⁴); Elevada (> 10⁶); ? Ainda existe incerteza.

^a Valor médio de microrganismos por grama de fezes (com excepção dos que ocorrem na urina);

^b Tempo mínimo médio entre a excreção e a infecção;

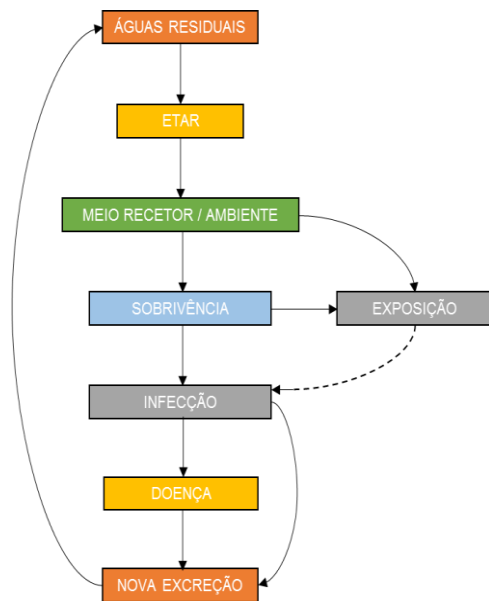
^c Máxima vida estimada da fase infecciosa à temperatura ambiente de 20-30°C;

^d Incluídos os polio-, eco- e coxaquievírus; e Inclui a *E.coli* enterotoxigénica, a *E.coli* enteroinvasiva e a *E.coli* enteropatogénica.

Fonte: Monte e Albuquerque (2010).

Os riscos associados à saúde pública estão sempre dependentes da exposição das ART perante o ser humano, podendo ser bastante variável. As exposições aos patogénicos deste tipo de águas variam consoante a finalidade e a forma da reutilização das ART. Sucintamente, a exposição torna-se máxima quanto existe ingestão, contacto direto do corpo ou inalação de aerossóis, resultantes da interação do Homem com as ART (com tratamento básico) presentes nos meios recetores. A exposição diminui significativamente consoante o nível de tratamento, sendo mínimo quando as ARU são sujeitas a um tratamento avançado.

A Figura 3.1 ilustra de forma simplificada o percurso do risco associado à presença de microrganismos patogénicos na água a reutilizar, enquanto a Tabela 3.5 apresenta as várias vias de exposição consoante o tipo de utilização das ART.



Fonte: adaptada de Monte e Albuquerque (2010).

Figura 3.1 – Vias de exposição a microrganismos patogénicos em sistemas de reutilização de ART.

Tabela 3.5 – Vias de exposição consoante a utilização de ART.

Aplicação	Vias de exposição
Reutilização para rega agrícola	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de plantas regadas com água reutilizada; - Consumo de carne e outros produtos de animais alimentados com plantas regadas com água reutilizada; - Contacto com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada; - Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.
Reutilização para rega paisagística	<ul style="list-style-type: none"> - Contacto com solo, plantas e equipamentos utilizados na aplicação da água reutilizada; - Exposição a aerossóis formados na rega por aspersão.
Reutilização industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Eventual exposição a salpicos de água em operações de lavagem de equipamento, de pavimentos.
Recarga de aquíferos	<ul style="list-style-type: none"> - Abastecimento de água para consumo humano, para rega e para a indústria.
Usos recreativos e ambientais	<ul style="list-style-type: none"> - Contacto com a água, plantas e animais aquáticos.
Reutilização para usos urbanos não potáveis	<ul style="list-style-type: none"> - Ligações cruzadas com a rede de abastecimento de água potável; - Exposição a aerossóis formados na lavagem de veículos e no combate a incêndios.

Fonte: Monte e Albuquerque (2010)

3.2.2 Poluentes químicos na composição química das águas residuais

Antes de 1940, as águas residuais existentes eram derivadas do seio doméstico. Após desta altura, com o rápido desenvolvimento industrial, surgiu um aumento significativo da quantidade de águas residuais, derivado da inserção das águas residuais industriais que eram descarregadas para os mesmos sistemas de recolha de água domésticos. Com a inserção das águas residuais industriais, a quantidade de metais pesados e de compostos orgânicos sintetizados aumentou significativamente. Com a evolução tecnológica ao longo destes anos, as indústrias acabam por gerar a cada ano 10 000 novos compostos orgânicos. (Tchobanoglous, Burton, e Stensel, 1991)

Assim, torna-se quase impossível fazer uma análise exaustiva da composição das águas residuais. De forma a facilitar a análise recorre-se por norma aos designados parâmetros agregados, como a carência bioquímica de oxigénio (CBO), a carência química de oxigénio (CQO), os sólidos em suspensão totais (SST), ou os sólidos dissolvidos totais (SDT). Estes agregados quantificam a concentração de um conjunto de compostos com determinadas características em comum (Monte e Albuquerque, 2010). A Tabela 3.6 apresenta os valores de composição química típica das ARU e ainda, é possível verificar uma comparação da composição das ARU não tratadas no EUA relativamente a Portugal.

Tabela 3.6 – Composição típica de ARU não tratadas.

Poluente	Unidades	EUA		Portugal	
	mg/L	Intervalo de variação	Valor típico	Intervalo de variação	Valor típico
Sólidos Totais (ST)	mg/L	390 - 1230	720	980 - 60	715
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	mg/L	270 - 860	500	210 - 720	550
Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)	mg/L	160 - 520	300	–	–
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	mg/L	110 - 340	200	–	–
Sólidos em Suspensão Totais (SST)	mg/L	120 - 400	210	90 - 430	190
Sólidos em Suspensão Fixos (SSF)	mg/L	25 - 85	50	9 - 24	16
Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV)	mg/L	95 - 315	160	34 - 109	72
Sólidos Sedimentáveis	mg/L	5 - 20	10	–	–
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO ₅ ²⁰)	mg/L O ₂	110 - 350	190	444 - 1338	290
Carência Química de Oxigénio (CQO)	mg/L O ₂	250 - 800	430	746 - 1946	608
Carbono Orgânico Total (COT)	mg/L	80 - 260	140	–	–
Azoto Total (N-tot)	mg/L N	20 - 70	40	53 - 88	60
Azoto Orgânico (N-org)	mg/L N	8 - 25	15	11,8 - 16,0	14
Azoto Amoniacal (N-NH ₄)	mg/L NH ₄	12 - 45	25	32 - 81	38
Nitritos (N-NO ₂)	mg/L NO ₂	0 - vestígios	0	vestígios - 1,31	0,19
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L NO ₃	0 - vestígios	0	vestígios - 3,3	0,5
Fósforo Total (P-tot)	mg/L P	4 - 12	7	3,5 - 13	8,5
Fósforo Orgânico (P-org)	mg/L P	1 - 4	2	–	–
Fósforo Inorgânico (P-ort)	mg/L P	3 - 10	5	–	9
Cloretos	mg/L	30 - 90	50	120 - 136	128
Sulfatos	mg/L	20 - 50	30	42 - 75	47
Óleos e gorduras	mg/L	50 - 100	90	39 - 475	115

Fonte: Monte e Albuquerque (2010).

De acordo com a legislação em vigor (Decreto-lei n.º 152/97, de 19 de junho), as ARU são convencionalmente submetidas, normalmente, a um tratamento secundário, excecionalmente a tratamento primário caso a descarga destas águas se dê em zonas menos sensíveis e, em zonas mais sensíveis, são por vezes submetidas a tratamento terciário.

A Tabela A.2, no Anexo A, apresenta a eficiência de cada processo de tratamento na remoção dos diversos poluentes químicos, de forma a ter uma ideia de como podemos controlar adequadamente os efeitos nocivos provocados pelos poluentes químicos.

4 Tipos de tratamento de águas residuais urbanas

Os diversos tipos de tratamento das águas residuais estão intimamente relacionados com as normas e/ou expectativas estabelecidas para a qualidade de um certo efluente. Todos os diferentes tipos de tratamento são projetados de forma a obter uma melhoria significativa na qualidade dos efluentes. Sucintamente, o principal objetivo do tratamento das águas residuais é permitir a utilização dos efluentes sem que estes apresentem perigos para a saúde humana ou danos inaceitáveis para o ambiente.

Os diferentes tipos de tratamento, de uma forma geral, dividem-se nos seguintes grupos: tratamento preliminar ou pré-tratamento, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário e ainda tratamento avançado. Nos subcapítulos que se seguem serão abordados de forma sucinta estes grupos de tratamento e, de forma mais profunda, serão abordados alguns dos mais frequentes processos de tratamento para pequenas aglomerações, dada a importância destes no caso em estudo.

As águas residuais são submetidas a tipo de tratamento consoante o tipo de utilização final, visto que cada tipo de utilização determina as características de qualidade necessárias que as ART têm que ter sem comprometer a saúde pública e o ambiente. Por norma, o mínimo de tratamento aplicável nas águas residuais para posterior reutilização é o tratamento secundário (Monte e Albuquerque, 2010).

Para melhor compreensão geral dos diversos tipos de tratamento, é apresentado na Figura A.1 um esquema que ilustra os vários tipos de tratamento existentes, bem como os diversos processos de tratamento inerentes a cada tipo. Trata-se de uma matriz que apresenta várias possibilidades de tratamento, sendo que a sua sequência lógica dependerá sempre da utilização final das ART.

4.1 Tratamento preliminar/Pré-tratamento

Tratamento preliminar ou também designado por pré-tratamento é definido como um processo de remoção de alguns constituintes das águas residuais, como compostos de maiores dimensões, ou por vezes objetos que a água residual transporta, que podem vir a causar problemas operacionais e de manutenção nos processos de tratamento subsequentes e em sistemas auxiliares ao tratamento (Asano et al., 2007).

Neste tratamento ocorre uma série de processos físicos de modo a que sejam removidos os materiais sólidos de maiores dimensões. Para produzir este efeito, é utilizado a gradagem e a desarenação como processos de remoção destes materiais.

A gradagem (ver Figura 4.1 e Figura 4.2) é uma operação unitária que tem como objetivo remover sólidos grosseiros, flutuantes e sedimentáveis, de maiores dimensões do que as aberturas das grades. É um processo que impede a flutuação de detritos nos órgãos a jusante (decantadores), o entupimento de canalizações e o desgaste, bem como o bloqueamento de equipamentos mecânicos.

A desarenação (ver Figura 4.2) é um processo de remoção de sólidos como areias e outros detritos minerais inertes e pesados, que apresentam uma velocidade de sedimentação ou gravidades

superiores às dos sólidos orgânicos. Os detritos com estas características depositam-se no fundo de um tanque enquanto que a matéria orgânica de sedimentação mais lenta, permanece em suspensão passando para as unidades de tratamento seguintes. A remoção das areias e de outros detritos é fundamental para a proteção de bombas e outros equipamentos.



Fonte: <http://csgquiagua.webnode.pt>
Figura 4.1 – Processo de Gradagem.



Fonte: <http://naturlink.pt>
Figura 4.2 – Processos no pré-tratamento.

4.2 Tratamento Primário

Depois do pré-tratamento, as águas residuais possuem as suas características poluidoras quase inalteradas, visto que o pré-tratamento é apenas um processo físico. O Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de junho define tratamento primário como: “tratamento das águas residuais urbanas por um processo físico e/ou químico que envolva a decantação das partículas sólidas em suspensão, ou por outro processo em que a CBO₅ das águas recebidas seja reduzida de, pelo menos, 20% antes da descarga e o total das partículas sólidas em suspensão das águas recebidas seja reduzido de, pelo menos, 50%”.

No tratamento primário além de ser reduzida a CBO₅ de pelo menos 20% (podendo atingir os 50%) e os SST reduzidos em mais de 50% (podendo atingir os 70%), também cerca de 65% dos óleos e gorduras nas águas residuais são removidos durante o tratamento primário. Além destes compostos, outros como o azoto orgânico, fósforo orgânico e metais pesados presentes nos sólidos em suspensão são removidos durante a decantação primária. Porém, este tipo de tratamento ainda não permite a remoção de substâncias dissolvidas e em suspensão coloidal, visto que se tratam de partículas de pequena dimensão. Após o efluente ser sujeito a este tipo de tratamento, isto é, passar pelo processo de decantação primária, denomina-se por efluente primário (Natural Resources Management and Environmental Department, n.d.).

Neste tratamento, em ETAR de grandes dimensões, a água é conduzida para os decantadores (ver Figura 4.3) onde se dá uma redução da velocidade da corrente, permitindo que as substâncias sólidas sejam depositadas no fundo do mesmo. Nestes decantadores são adicionados por vezes agentes químicos que através de uma coagulação possibilita a obtenção de flocos de matéria poluente de maiores dimensões, tornando mais fácil o processo de decantação. Deste processo de tratamento resultam as lamas primárias (ver Figura 4.4), constituídas na sua maioria por matéria orgânica.

Em estações de tratamento para pequenas aglomerações, são usadas fossas sépticas (ver subcapítulo 4.5.2 e Anexo B) ou tanques Imhoff (ver Figura 4.5). Sucintamente um tanque Imhoff é um

tanque constituído por dois compartimentos, em que o primeiro funciona como decantador primário e o segundo funciona como digestor anaeróbio das lamas (Matos e Ferreira, 2012). Estas lamas, em estações de tratamento de pequenas aglomerações, são processadas de diversas formas incluindo: digestão aeróbia, armazenamento em lagoas de estabilização, ou mesmo utilização destas lamas como fertilizante.



Fonte: <http://csgquiagua.webnode.pt>
 Figura 4.3 – Decantador.



Fonte: <http://naturlink.pt>
 Figura 4.4 – Lamas primárias.



Fonte: <http://ecodena.com>
 Figura 4.5 – Tanque Imhoff.

4.3 Tratamento secundário

Segundo o Decreto Lei n.º 152/97 de 19 de junho o tratamento secundário é um tratamento que envolve geralmente um tratamento biológico com decantação secundária ou outro processo que permita respeitar os valores apresentados no quadro seguinte (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais urbanas sujeitas ao disposto nos artigos 5.º e 6.º do Decreto Lei n.º 152/97.

Parâmetros	Concentração	Porcentagem mínima de redução (1)	Método de referência de mediação
Carência bioquímica de oxigénio (CBO ₅ a 20°C) sem nitrificação (2)	25 mg/l O ₂	70 - 90	Amostra homogeneizada, não filtrada e não decantada. Determinação do oxigénio dissolvido antes e depois da incubação de cinco dias a 20°C ± 1°C, na total ausência de luz. Adição de um inibidor da nitrificação.
Carência química de oxigénio (CQO).	125 mg/l O ₂	75	Amostra homogeneizada, não filtrada, não decantada. Dicromato de potássio.
Total de partículas sólidas em suspensão (3)	35 mg/l (3) 35 nos casos previstos no n.º do artigo 5.º (e.p. superior a 10 000) 60 nos casos previstos no n.º do artigo 5.º (e.p. de 2000 a 10 000)	90 (3) 90 nos casos previstos no n.º do artigo 5.º (e.p. superior a 10 000) 70 nos casos previstos no n.º do artigo 5.º (e.p. de 2000 a 10 000)	Filtração de uma amostra representativa através de um filtro de membrana de 0,45 µm. Secagem a 105°C e pesagem. Centrifugação de uma amostra representativa (durante pelo menos cinco minutos a uma aceleração média de 2800g a 3200g). Secagem a 105°C e pesagem.
(1) Redução em relação à carga do afluente.			
(2) O parâmetro pode ser substituído por outro: carbono orgânico total (COT) ou carência total de oxigénio (CTO), se for possível estabelecer uma relação entre a CBO ₅ e o parâmetro de substituição.			
(3) Este requisito é facultativo.			
NOTA: As análises das descargas provenientes de lagoas serão efetuadas com amostras filtradas; no entanto, a concentração do total de partículas sólidas em suspensão em descargas de águas não filtradas não poderá exercer 150mg/l.			

Fonte: adaptado de Decreto Lei 152/97 de 19 de junho.

O tratamento secundário é um tratamento adicional do efluente primário que tem como objetivo remover quase na sua totalidade os produtos orgânicos residuais e os sólidos suspensos. Na maioria dos casos, o tratamento secundário segue-se ao tratamento primário. Este tratamento envolve a remoção de material orgânico biodegradável dissolvido e coloidal que escapa ao tratamento primário utilizando processos de tratamento biológicos aeróbios. O tratamento biológico aeróbio é realizado na presença de oxigénio por microrganismos aeróbios (principalmente bactérias) que metabolizam a matéria orgânica na água residual, produzindo dióxido de carbono, água e energia para o seu crescimento e reprodução (Natural Resources Management and Environmental Department, n.d.).

O tratamento secundário tem à sua disposição várias tecnologias que funcionam sobre princípios semelhantes, diferindo principalmente na forma em que o oxigénio é fornecido para os microrganismos e a taxa à qual os microrganismos metabolizam a matéria orgânica. Destas técnicas destacam-se os sistemas aeróbios intensivos, quer por biomassa (microrganismos) suspensa (lamas ativadas), quer por biomassa fixa (leitões percoladores, leitões de macrófitas e discos biológicos) e ainda os sistemas aquáticos por biomassa suspensa (lagunagem).

4.4 Tratamento terciário e/ou Tratamento avançado

O tratamento terciário e/ou avançado é empregue quando se pretende a eliminação de certos constituintes específicos das águas residuais em que o tratamento secundário se torna ineficiente. Esta expressão de tratamento terciário pode designar vários tipos de tratamentos ou diferentes funções com vista a alcançar um nível de tratamento superior àquele que é proporcionado pelo tratamento secundário. O tratamento terciário pretende aumentar a remoção de alguns parâmetros convencionais, como as matérias em suspensão, ou ainda, aumentar de forma considerável a taxa de remoção de alguns parâmetros que têm uma taxa de remoção baixa no tratamento secundário, como é o caso a remoção do fósforo (por exemplo, através de precipitação química), a remoção de azoto (por exemplo, através de lamas ativadas com remoção biológica de azoto) e de microrganismos patogénicos (Departamento Internacional da Água, 2001).

A desinfecção é um tratamento terciário que visa melhorar a qualidade do efluente, mais propriamente na eliminação de microrganismos. Esta pode ser feita por diversas formas, por cloração, radiação UV e ozonificação. A cloração é o sistema mais usual em Portugal, por se tratar, de entre os processos de desinfecção, do mais vulgar e económico. Este processo é implacável com as bactérias, mas é bastante ineficaz na eliminação dos vírus e dos resíduos, que permanecem no efluente final que é lançado para os meio recetores, podendo causar ainda alguns inconvenientes ambientais e na saúde pública. A ozonificação e a radiação UV são processos que podem substituir a cloração, sendo mais eficientes, mas em contrapartida são mais onerosos. Estes processos de tratamento, devido ao seu custo acabam por não ser de uso comum (Natural Resources Management and Environmental Department, n.d.).

Após o efluente residual ser sujeito a estes tipos de tratamento, na generalidade apresenta uma qualidade adequada para que possa ser reutilizado em diversas atividades humanas, sem que o seu uso apresente riscos consideráveis para a saúde pública e para o ambiente.

4.5 Soluções de tratamento em pequenas aglomerações

Neste capítulo serão abordadas soluções de tratamento tecnicamente viáveis para pequenas aglomerações. Estas soluções serão importantes, no que visa a adoção de uma solução de tratamento para o caso em estudo. As soluções apresentadas terão em conta o tratamento tanto da fase sólida como da fase líquida. O tipo de solução irá variar consoante os seguintes escalões populacionais:

- até 150 habitantes;
- entre 150 e 300 habitantes;
- entre 300 e 500 habitantes.

Pequenas estações de tratamento podem ser definidas como estações que se destinam a servir uma população não superior a 500 habitantes (Matos e Ferreira, 2012). Na Tabela 4.2 são apresentadas algumas soluções de tratamento para pequenos aglomerados, podendo servir até 2000 habitantes. Note-se que quando a população a servir ultrapassa os 500 habitantes, as soluções têm que, eventualmente, dispor de mais do que uma linha de tratamento.

Tabela 4.2 – Tecnologias de tratamento para pequenos aglomerados.

TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO ELEGÍVEIS	
Tratamento Primário	Tratamento Secundário
Fossa séptica	Leitos percoladores
Tanque Imhoff	Lagunagem
	Leito de macrófitas
	Lamas ativadas

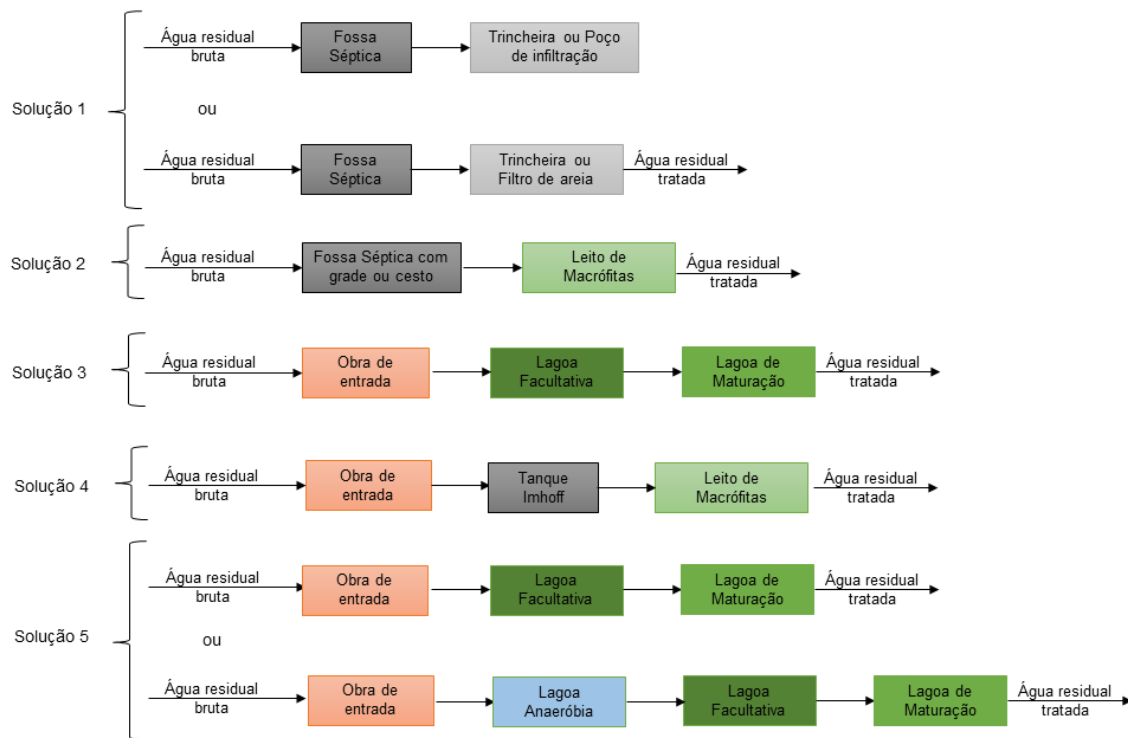
Fonte: adaptado de Matos e Ferreira, 2012.

As tecnologias anteriormente apresentadas podem ser conjugadas, consoante o escalão populacional a servir. A Tabela 4.3 apresenta os diversos sistemas de tratamento elegíveis para cada um dos escalões populacionais e a Figura 4.6 as sequências de tratamento correspondentes às diversas soluções tecnicamente elegíveis, segundo (Matos e Ferreira, 2012).

Tabela 4.3 – Sistemas de tratamento elegíveis para cada escalão populacional.

Escalão Populacional	Tipo de Solução	Sistema de tratamento elegível
Até 150 habitantes	Solução 1	Fossa séptica individual ou conjunta e disposição final apropriada (infiltração no solo, através de poços de infiltração, trincheiras filtrantes, filtros de areia enterrados ou aterros filtrantes, consoante as características geológicas e de permeabilidade locais, e posterior descarga em linha de água).
Entre 150 a 300 habitantes	Solução 2	Fossa séptica e leito de macrófitas.
	Solução 3	Obra de entrada e lagunagem (por exemplo, lagoa facultativa, com lagoa de maturação em série)
Entre 300 a 500 habitantes	Solução 4	Obra de entrada, tanque Imhoff, leito de macrófitas e leitos de secagem de lamas.
	Solução 5	Obra de entrada e lagunagem (lagoa facultativa em série com lagoa de maturação). Em casos justificados, e em regra para populações superiores pode considerar-se, ainda, uma lagoa anaeróbia a montante da lagoa facultativa.

Fonte: adaptado de Matos e Ferreira (2012).



Fonte: adaptado de Matos e Ferreira (2012).

Figura 4.6 – Sequências de tratamento de águas residuais tecnicamente elegíveis (escalão populacional inferior ou igual a 500 habitantes)

Além destas sequências de tratamento, caso se verifique a necessidade de maior redução de microrganismos patogénicos, deve ser considerada a desinfecção do efluente. A cloragem, é o processo mais usual e permite uma maior qualidade da água, quando se pretende utilizar estas águas para rega de espaços verdes ou para limpezas, por exemplo. Em casos devidamente justificados, nomeadamente por limitações de espaço ou maior qualidade da água tratada (que permite contacto direto com o homem) é possível desinfetar com outras técnicas alternativas, como a radiação UV.

Um dos critérios mais importantes para a escolha de uma determinada solução de tratamento, é a sua viabilidade técnico-económica, em termos de menor custo total atualizado. Outros critérios como a adaptação às condições locais, eficiências de tratamento pretendidas, exigência de mão de obra qualificada, custos de investimento e de implantação, são também fatores muito importantes para adotar uma boa solução. (Matos e Ferreira, 2012).

4.5.1 Obra de entrada

A obra de entrada tem como principal função a remoção de sólidos de maiores dimensões, isto é, destina-se ao pré-tratamento das águas residuais. Em regra, é constituída por um sistema de gradagem, em que numa câmara contém duas grades (uma das quais de reserva). Neste tipo de sistema é normalmente comum prever-se uma grade mecânica e manter uma grade manual de recurso. Um exemplo de uma obra de entrada pode ser observado na Figura 4.1 (Matos e Ferreira, 2012).

4.5.2 Fossa séptica

Uma fossa séptica é uma infraestrutura que pode ser constituída por um ou vários compartimentos (depende do número de utilizadores), onde as águas residuais são mantidas, de forma a que sejam sujeitas a uma ação mecânica (por sedimentação e flotação) e a uma ação biológica (digestão anaeróbia ou fermentação séptica), que leva à estabilização parcial ou total das substâncias decantadas (lamas). (Pedroso, 2014);(Matos e Ferreira, 2012).

À entrada das fossas sépticas a velocidade das águas residuais deverá ser reduzida. Com esta redução, as partículas sedimentáveis conseguem sob a ação do seu próprio peso separarem-se do líquido e depositarem-se no fundo, formando as lamas. Além da formação de lamas, existe a formação de espuma ou crosta. Estas, resultam de partículas de menor densidade nas águas residuais, como gorduras, detritos vegetais, entre outros, que constituem materiais flutuantes que se aglomeram à superfície (Pedroso, 2014).

Após a formação das escumas e lamas, inicia-se uma ação biológica. A ação biológica consiste na transformação da matéria orgânica em matéria mineral, acompanhada com libertação de gases, processada através duma fermentação do tipo anaeróbio⁵ (Pedroso, 2014).

Como já foi referido, as fossas sépticas podem ser constituídas por um ou vários compartimentos. Contudo, alguns estudos têm relevado não haver grande vantagem em utilizar um número elevado de compartimentos. Alguns países estabelecem como limite máximo de quatro compartimentos, limitando, no entanto, a maioria esse número a três. De forma a aumentar a eficiência, deverão ser consideradas fossas com um mínimo de dois compartimentos. Para uma gama até 500 utilizadores a servir, uma fossa séptica deverá ser constituída por 3 compartimentos. (Pedroso, 2014);(Matos e Ferreira, 2012).

A execução de fossas sépticas deverá respeitar algumas relações dimensionais, de modo a evitar zonas mortas, bem como controlar a velocidade de circulação das águas residuais no seu interior. A Tabela 4.4 ilustra as relações dimensionais admissíveis, bem como o limite inferior e superior da altura da fossa. No Anexo B é possível observar uma fossa séptica de três compartimentos (em corte e em planta), bem como alguns requisitos que devem ser cumpridos no seu dimensionamento/construção.

Tabela 4.4 – Relações dimensionais admissíveis de uma fossa séptica.

Número de compartimentos	Relação comprimento/largura (c/l)	Altura máxima (H) das águas	Capacidade relativa entre compartimentos		
			C1 ⁽¹⁾	C2 ⁽²⁾	C3 ⁽³⁾
1	2/1 a 3/1	≥ 1,20m e ≤ 2,00m			
2	até 5/1		C1 = 2xC2	C2 = C1/2	
3			C1 = (C2+C3)	C2 = C3	C3 = C2
(1) Primeiro compartimento. (2) Segundo compartimento (3) Terceiro compartimento.					

Fonte: adaptado de Pedroso (2014).

⁵ Fermentação do tipo anaeróbio: consiste na extração por parte das bactérias do oxigénio de compostos orgânicos e minerais, que ficam sem oxigénio nas suas moléculas, e que implica a estabilização das matérias em maior ou menor grau, bem como uma significativa redução de lamas, em termos volumétricos.

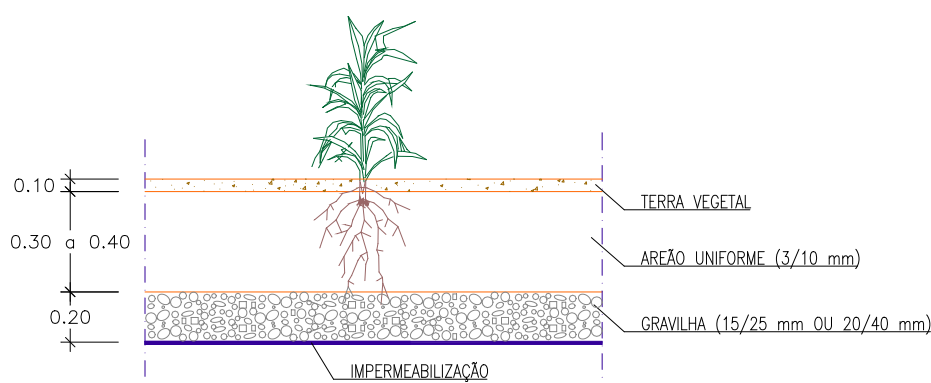
Ao nível da manutenção, as fossas sépticas devem ser inspecionadas de forma periódica, com intervalos não superiores a um ano. A inspeção tem o objetivo de verificar se as escumas não atingiram o dispositivo de descarga da fossa, como também verificar se a distância entre estes e as lamas de fundo não se reduziu em demasia, isto é: a espessura das lamas de fundo não deve ultrapassar 30 a 40% da altura de líquido na fossa, 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. (Pedroso, 2014);(Matos e Ferreira, 2012).

Quando as lamas atingirem o valor limite anteriormente referido, mas não totalmente, deve-se sempre deixar uma pequena parte de lamas (cerca de um quinto do seu volume). A não remoção total, deve-se ao facto de permitir a manutenção de um meio alcalino e bacteriologicamente favorável à transformação rápida das lamas frescas que a fossa seguidamente irá receber. Tal como as lamas, não é aconselhada a remoção total das escumas, visto que são fundamentais como meio de absorção parcial dos gases desenvolvidos nos processos de fermentação. (Pedroso, 2014);(Matos e Ferreira, 2014)

4.5.3 Leito de macrófitas

Nos últimos anos, no tratamento de águas residuais, tem vindo a adquirir importância a tecnologia de zonas húmidas construídas, também designadas por leito de macrófitas, lagoas de macrófitas ou fito-ETAR. Uma zona húmida natural pode ser definida como um sistema complexo, constituído essencialmente por plantas, água, substratos, resíduos orgânicos, invertebrados (maioritariamente larvas de insetos e minhocas) e uma diversidade de microrganismos, sendo que os mais relevantes as bactérias (Galvão, 2009).

Um leito de macrófitas é constituído por uma depressão pouco profunda (<1m), geralmente impermeabilizado por uma geomembrana (impedindo a infiltração no solo), em que posteriormente é preenchido por um meio de enchimento poroso. A Figura 4.7 apresenta um corte transversal tipo de um leito macrófitas.



Fonte: Matos e Ferreira (2012).

Figura 4.7 – Secção transversal tipo de um leito de macrófitas.

Os leitos podem ser classificados em dois grandes tipos, consoante a forma como se processa o escoamento, nomeadamente (Galvão, 2009);(Kadlec e Wallace, 2009):

- Escoamento superficial: o efluente escoia através de um leito preenchido com água e plantas aquáticas;

- Escoamento sub-superficial: o efluente escoia através de um leito preenchido com um meio poroso (normalmente gravilha), que apresenta plantas à superfície (macrófitas).

Quanto aos leitos de escoamento superficial, estes são normalmente classificados em função do tipo de plantas existentes no leito, designadamente (Galvão, 2009);(Kadlec e Wallace, 2009):

- Emergentes: as plantas aquáticas estão fixas no fundo do leito, numa pequena camada de solo, em que a parte inferior do caule encontra-se submersa e a superior à superfície;

- Submersas: as plantas estão totalmente submersas na água;

- Flutuantes: as plantas flutuam à superfície do leito, não tendo as raízes fixas no fundo do leito.

Os leitos de escoamento sub-superficial são geralmente classificados em função da direção predominante do escoamento, nomeadamente (Galvão, 2009);(Kadlec e Wallace, 2009):

- Escoamento vertical: o efluente é descarregado pela superfície do leito, numa das extremidades ou em diversos pontos, de forma a que o escoamento seja preferencialmente vertical. A base do leito é de geometria plana e dispõe de um sistema de drenagem (geralmente tubagens perfuradas) que recolhe o efluente tratado e o encaminha para uma caixa de saída;

- Escoamento horizontal: o efluente é descarregado numa das extremidades do leito, normalmente no interior de uma camada de gravilha de brita ou pedra de maior dimensão, percolando ao longo do leito, em que a sua base apresenta geralmente uma pequena inclinação, permitindo que o movimento de escoamento seja predominantemente horizontal.

Os leitos de macrófitas com escoamento sub-superficial horizontal, são os de maior aplicação em Portugal. Estima-se que cerca de 90% dos leitos de macrófitas para efluentes domésticos são deste tipo (Galvão, 2009). Assim, no subcapítulo seguinte, irá ser feita uma abordagem mais detalhada deste tipo de solução.

4.5.3.1 Leitos de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal

A distribuição do efluente neste tipo de leitos é geralmente efetuada através de uma tubagem perfurada. A tubagem é disposta transversalmente no interior de uma camada de material mais grosseiro, por forma a permitir a que o efluente percorra todo o leito no sentido longitudinal, ao longo do qual se processa o tratamento. (Galvão, 2009). No Anexo C é apresentado de forma esquemática uma planta e um corte longitudinal de um leito de macrófitas, deste tipo de escoamento.

A impermeabilização nos leitos de macrófitas é normalmente conseguida por uma camada de argila ou pelo uso de uma geomembrana, de modo a impedir a infiltração de águas poluídas no solo. De forma a minimizar os custos de impermeabilização, poderá ser utilizada uma camada de argila ou de solo argiloso já existente no local devidamente compactado, desde que a composição do solo tenha uma percentagem superior em argila de 15%. Caso o solo não apresente estas características, deverá optar-se por uma outra solução de impermeabilização. Esta solução passa na maioria dos casos, pela colocação de uma membrana plástica, como é o caso de polietileno de alta densidade (PEAD). Quando se opta por este tipo de material, é necessário que o revestimento tenha uma espessura adequada,

apresente uma superfície lisa, de modo a evitar a fixação das raízes das plantas e posterior perfuração (Galvão, 2009).

Quanto ao meio de enchimento deste tipo de leitos, é geralmente dividido em três zonas com diferentes características de enchimento, designadamente (Galvão, 2009):

- Zona inicial, de distribuição do efluente: preenchida por pedra de diâmetros entre os 8 e 15 cm, apresentando uma elevada condutividade hidráulica, de modo assegurar uma adequada distribuição do efluente e evitar a colmatção no segmento inicial do leito;

- Zona intermédia, corresponde ao desenvolvimento do leito: segundo as orientações existentes, em Portugal, resultantes da experiência nacional, é preenchida por três camadas diferentes. A primeira, com base de gravilha com cerca de 20 cm de espessura. A segunda, uma camada de areão grosso ou gravilha com 30 a 40 cm de espessura. A terceira, cobertura de terra vegetal arável com cerca de 10 cm de espessura. Na Figura 4.7 é possível observar a composição desta mesma zona.

- Zona final, de recolha do efluente tratado: é idêntico à zona inicial.

Estes leitos são constituídos por macrófitas, plantas aquáticas, em que as espécies mais utilizadas são dos géneros *Typhia*, *Phragmites*, *Iris*, *Cyperus*, *Phalaris* e *Schoenoplectus*, podendo ser observadas na Figura 4.8. Mundialmente, a espécie mais utilizada em leitos de escoamento sub-superficial é a *Phragmites australis*, visto que apresenta elevada taxa de crescimento, elevado desenvolvimento das raízes, bem como elevada tolerância a solos saturados. A presença de macrófitas no leito é de grande importância, no que diz respeito aos processos de remoção de poluentes. No envolvimento das plantas nos processos de remoção de poluentes, estas apresentam diversas funções, que dizem respeito tanto à parte aérea do caule como à componente enterrada das raízes e rizomas. De forma sumária, o Tabela 4.5 apresenta as principais funções destas duas componentes das macrófitas (Galvão, 2009).



Typhia latifolia



Phragmites australis



Iris pseudacorus



Cyperus alternifolius



Phragmites arundinacea



Schoenoplectus atrovirens

Figura 4.8 – Exemplo de macrófitas utilizadas em leitos de escoamento sub-superficial.

Tabela 4.5 – Principais funções das macrófitas no tratamento.

Componente	Função no processo de tratamento
Tecido aéreo	- Influência no microclima local, promovendo insolação durante o inverno. - Beneficiação do aspeto estético. - Acumulação de nutrientes.
Raízes e rizomas	- Oferecem superfície disponível para a fixação de bactérias e outros microrganismos. - Previnem a colmatação em leitos de escoamento vertical. - Libertam oxigénio promovendo a degradação de matéria orgânica e a nitrificação. - Promovem a assimilação de nutrientes.

Fonte: adaptado de Galvão (2009).

Nos leitos de macrófitas ocorrem processos físicos, químicos e biológicos, permitindo a remoção de poluentes existentes na água residual. O principal mecanismo físico de remoção corresponde à sedimentação, que contribui para a retenção de matéria orgânica particulada. A adsorção e a precipitação química, são os principais mecanismos químicos, que contribuem de forma significativa na remoção do fósforo e de metais pesados. Os principais processos biológicos, dizem respeito à decomposição e assimilação microbiológica e à assimilação pelas plantas, tendo uma importância relevante na degradação da matéria orgânica e compostos de azoto. Outros processos que representam um papel importante são o decaimento natural e a predação microbiológica, que contribuem para a remoção de microrganismos patogénicos. A Tabela 4.6 apresenta os parâmetros que são sujeitos a remoção e os processos de remoção que lhes é inerente (Galvão, 2009).

Tabela 4.6 – Mecanismos de remoção de poluentes em leitos de escoamento sub-superficial.

Parâmetro	Processos		
	Físicos	Químicos	Microbiológicos
Sólidos suspensos	Sedimentação	-	Decomposição microbiológica
CBO ₅	Sedimentação	-	Decomposição microbiológica
CQO	Sedimentação	-	Decomposição microbiológica
Metais	Sedimentação	Precipitação; adsorção; trocas iónicas	Assimilação microbiológica; assimilação pelas plantas
Hidrocarbonetos derivados do petróleo	Volatilização	Adsorção	Decomposição microbiológica; assimilação pelas plantas
Hidrocarbonetos sintéticos	Sedimentação; volatilização	Adsorção	Decomposição microbiológica; assimilação pelas plantas
Azoto	Sedimentação	Adsorção; volatilização (amónia)	Assimilação microbiológica; assimilação pelas plantas
Fósforo	Sedimentação	Precipitação; adsorção	Assimilação microbiológica; assimilação pelas plantas
Microrganismos patogénicos	Sedimentação	-	Decaimento natural; predação microbiológica

Fonte: adaptado de Wallace e Knight (2006).

4.5.4 Desinfecção do efluente secundário

A desinfecção do efluente secundário pode ser feita de várias formas. A desinfecção por cloração, radiação UV e ozonificação, são os métodos mais utilizados nos dias de hoje. No que diz respeito aos pequenos aglomerados, pretende-se que a desinfecção não assuma uma parcela de custo significativamente grande na solução de tratamento.

Uma das alternativas para a desinfecção do efluente é a utilização de lagoas de maturação. Estas são lagoas anaeróbias situadas no final da série de tratamento, que recebem as águas residuais já bastante depuradas de matéria orgânica e têm como principais funções: a inativação de microrganismos patogénicos, reduzir consideravelmente as bactérias fecais, ovos parasitas, protozoários e de vírus (Monte e Albuquerque, 2010). Estas lagoas são consideradas como uma solução económica para a desinfecção do efluente, porém uma das suas desvantagens é a necessidade de uma área relativamente grande para a sua implantação.

A tecnologia baseada na radiação UV tem vindo a sofrer uma evolução significativa no que diz respeito à diminuição de custos da sua utilização para a desinfecção. A radiação UV era por muitas vezes deixada de parte como uma solução economicamente viável para ETAR de pequenos aglomerados, devido aos elevados custos que apresentava relativamente aos consumos energéticos associados. Atualmente, a evolução tecnológica neste tipo de solução, tem vindo a inverter esta tendência, visto que têm surgido equipamentos de desinfecção por radiação UV alimentados por painéis solares anulando esses mesmos custos. Um exemplo disto é o equipamento utilizado num projeto realizado na Índia, denominado por *Safeguarding Water resources in India with Green and Sustainable technologies (SWINGS)*. Neste projeto foi utilizado um sistema de desinfecção à base de radiação UV, designado por *Solar UV Disinfection System*, em que utiliza um equipamento alimentado por painéis solares (SWINGS Project, 2016).

Este sistema consiste num sistema autónomo de bombagem de água e de desinfecção, que utiliza radiação UV como método de desinfecção. Este método tem como objetivo proporcionar um sistema de custo relativamente baixo, mantendo a máxima segurança operacional. Funciona autonomamente e exige baixo nível de manutenção. Deste tipo de sistema, resulta um efluente terciário com qualidade suficiente para que o efluente tratado possa ser utilizado em diversas atividades (permitindo o contacto direto com o homem) (SWINGS Project, 2016).

A Figura 4.9 apresenta um esquema do sistema de desinfecção, onde é possível observar as propriedades do mesmo, citadas seguidamente. Assim, o sistema é constituído pelas seguintes propriedades (SWINGS Project, 2016):

- O sistema tem como base funcionamento por energia solar, possuindo apenas uma pequena reserva de energia para manter a operação de desinfecção UV durante a noite, bem como para manter o sistema de controlo em funcionamento;
- É constituída por uma bomba, que tem capacidade de garantir a circulação da água, de forma a que esta seja encaminhada até às unidades de pré-filtração e de desinfecção, e posteriormente armazenada no reservatório. Este sistema ao conter simplesmente uma única bomba, possibilita economizar energia, reduzir o custo de investimento, bem como o desgaste dos acessórios.

- A bomba é equipada com um sensor de nível, de modo a evitar danos quando o caudal de água proveniente do sistema de tratamento a montante seja demasiado baixo;

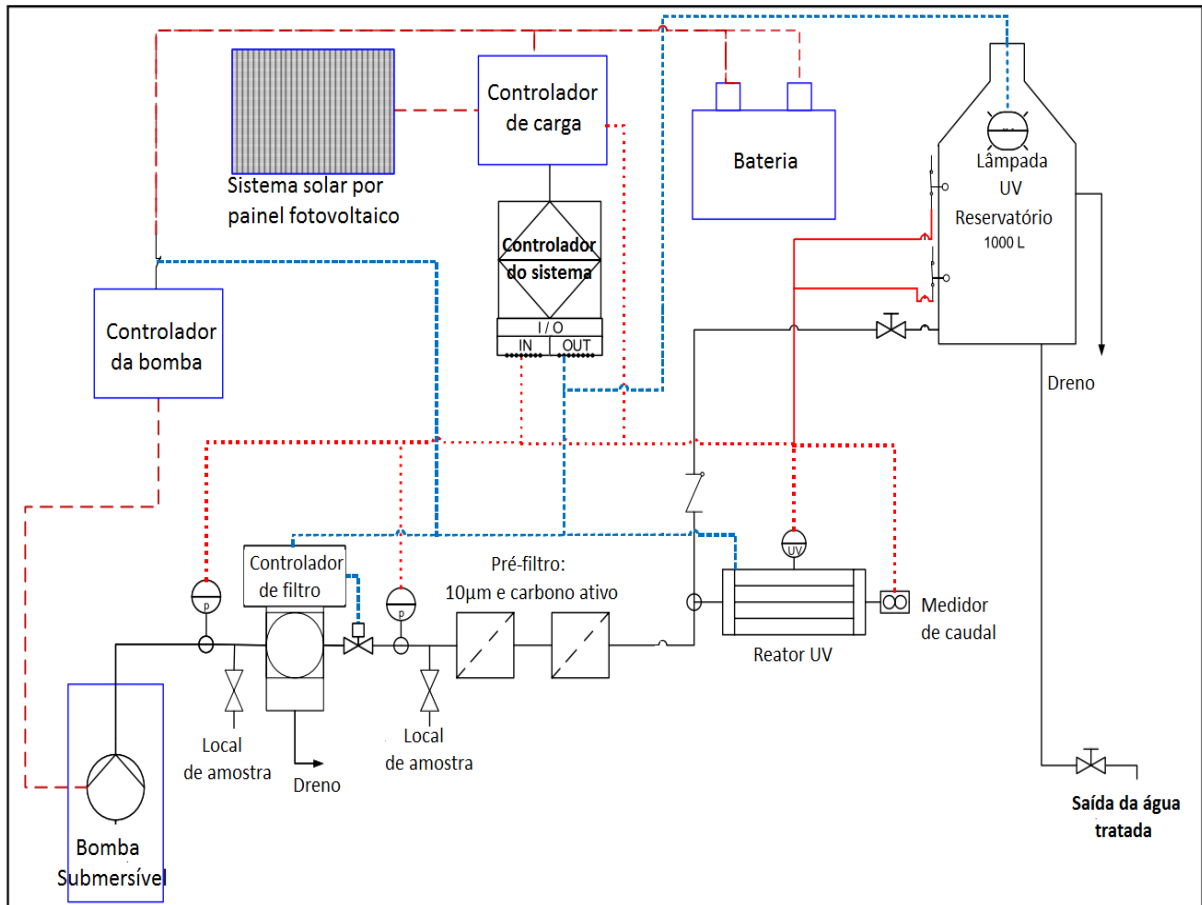
- É constituído por um sistema de pré-filtração, que permite que a água seja filtrada de modo a que a radiação consiga penetrar na mesma, garantindo uma boa desinfeção. O seu processamento baseia-se em três etapas de filtração. A primeira, consiste na passagem da água por um filtro de areia com uma função de retorno automatizada para regeneração do filtro. A segunda, consiste na utilização de um filtro de cartucho que inspeciona o resultado da primeira fase de filtração. Este filtro pode ser equipado por diversos tipos de cartuchos consoante as dimensões das partículas de areia, por forma a otimizar o tempo de operação e a segurança do sistema. A última etapa, consiste na utilização de um filtro de cartucho de carvão ativado, a fim de remover substâncias dissolvidas que possam diminuir a transmissão de radiação UV;

- Após a água passar pelo processo de filtração é encaminhada para o reator UV, onde sofre a desinfeção. Quando a água chega ao reator ainda se encontra com alguma turvação, porém o pequeno espaço existente entre a lâmpada UV e a parede do reator permite que a desinfeção seja realizada com a devida qualidade;

- A desinfeção e a segurança da operação são garantidas através da monitorização contínua da intensidade da radiação UV. Quando existe uma maior turvação da água, a intensidade da radiação terá de ser maior, pelo que esta monitorização permite controlar essa mesma intensidade, como também evitar a falha da lâmpada UV. Além disto, as horas de funcionamento da operação são contabilizadas, de forma a assegurar que a lâmpada é trocada assim que se atinge o seu tempo de vida útil, de modo a que a manutenção seja feita em tempo oportuno. Para fins de limpeza, a lâmpada pode ser removida do reator manualmente, sem necessidade de recorrer a ferramentas especiais para o efeito;

- O reservatório possui uma lâmpada UV, de modo a evitar que a água desinfetada volte a ficar contaminada.

No Anexo D é apresentado um catálogo de uma empresa que fornece o sistema de desinfeção, onde é possível verificar que a capacidade de produção nominal é de 10 m³ por dia.



Fonte: adaptado de SWINGS Project (2016).

Figura 4.9 – Esquema de processamento do sistema de desinfecção *SolarUV Desinfection System*.

5 Aplicações da reutilização das águas residuais tratadas

A água pode ser reutilizada várias vezes e para diversos usos, desde que seja tratada de modo a adquirir a qualidade necessário consoante o respetivo uso. A utilização das ART deve ser economicamente viável, ambientalmente segura e aceite pela opinião pública (Monte e Albuquerque, 2010).

Em Portugal, as diversas categorias de utilização das ART que apresentam mais interesse são: rega agrícola; rega paisagística, onde inclui a rega de campos de golfe; abastecimento de algumas indústrias, como a têxtil e a do papel; recarga de aquíferos; usos recreativos e ambientais; usos urbanos não potáveis.

A Tabela 5.1 apresenta as várias possibilidades de maior interesse de utilização das ART, algumas das aplicações possíveis inerentes a cada tipo de utilização, bem como as respetivas condicionantes. A qualidade das ART é o fator mais importante da análise das possíveis aplicações de reutilização, principalmente quando se trata de possíveis problemas para a saúde pública e para o ambiente (Monte e Albuquerque, 2010).

Tabela 5.1 – Principais aplicações da ART inerente a cada categoria de utilização e as suas condicionantes.

Categoria de utilização	Aplicação	Condicionantes
Rega agrícola	Viveiros de árvores e plantas.	Comercialização das culturas.
	Culturas alimentares, forragens, cereais, fibras.	Necessidade de zona tampão.
	Proteção contra as geadas.	Preocupações de saúde pública.
	Silvicultura.	Controlo dos aerossóis e drenagem.
Rega paisagística	Campos de golfe.	Controlo da desinfecção.
	Faixas separadoras e margens de autoestradas.	Preocupações de saúde pública.
	Parques públicos.	Aceitação pública.
	<i>Campus</i> escolares.	Controlo dos aerossóis.
	Cemitérios.	Drenagem.
	Jardins residenciais.	Ligação cruzadas com rede de água potável.
Indústria	Água para arrefecimento.	Controlo de aerossóis.
	Lavagem de equipamentos.	Ligações cruzadas com rede de água potável.
	Combate contra incêndio.	Incrustações, corrosão, filmes biológicos.
	Construção pesada.	
	Água de processo.	
Recarga de Aquíferos	Barreira contra a intrusão salina.	Disponibilidade de locais.
	Reforço dos aquíferos.	Contaminação das águas subterrâneas.
	Armazenamento.	Aumento do teor de Sólidos Dissolvidos Totais. Efeitos toxicológicos devidos a compostos orgânicos.

Categoria de Utilização	Aplicação	Condicionantes
Usos recreativos e ambientais	Lagos e lagoas artificiais.	Eutrofização.
	Reforço do caudal de cursos de água.	Ligações cruzadas com rede de água potável.
	Reforço de zonas húmidas.	Toxidade para a vida aquática.
	Neve artificial.	
Usos urbanos não potáveis	Descarga de autoclismos.	Ligações cruzadas com rede de água potável.
	Fontes e jogos de água ornamentais.	
	Lavagem de veículos.	
	Lavagem de ruas.	Incrustações, corrosão, filmes biológicos.
	Lavagem de contentores de resíduos sólidos urbanos.	
	Varrimento de coletores.	Aceitação pública.
	Fusão de neve.	
Condicionamento de ar.	Saúde pública.	

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Nos subcapítulos seguintes irá ser abordado de uma forma sucinta as diferentes categorias de utilização. Torna-se importante esta abordagem para melhor compreensão do tema, bem como prever a possível finalidade que se poderá dar à possível utilização da ART no caso em estudo.

5.1 Reutilização de águas residuais tratadas para rega agrícola

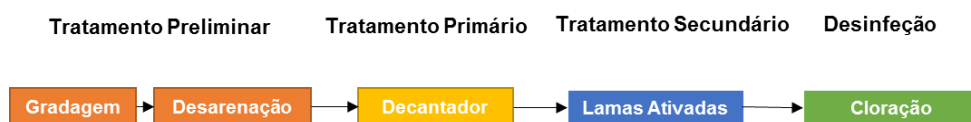
Na atualidade, esta aplicação é a que utiliza o maior volume de águas residuais tratadas, tanto em países de agricultura mais desenvolvida como nos países em desenvolvimento. Em Portugal, o setor agrícola consome cerca de 87,3% do total da procura anual de água, representando um valor económico anual estimado em 524 milhões de euros (Monte e Albuquerque, 2010). A nível mundial, a rega na agricultura representa cerca de 70% do consumo de água (Asano et al., 2007). Através destes dados conclui-se que este tipo de utilização das ART é primordial no setor agrícola de forma a diminuir o consumo de água.

O tratamento das águas residuais, isto é, a qualidade da ART utilizada constitui o fator mais importante a considerar na reutilização de águas residuais para rega agrícola. Porém, não é o único fator. O método de rega e o tipo de cultura a regar constituem outros fatores importantes a ter em conta. Por exemplo, o método de rega por aspersão pode proporcionar o contacto direto com as culturas, e, neste caso, o tratamento das águas residuais a utilizar deverá incluir a desinfecção, tratamento que é indispensável em certas aplicações, caso se trate por exemplo de rega de culturas destinadas a serem consumidas a cru (Monte e Albuquerque, 2010).

Além destes fatores anteriormente citados, outros dos fatores a ter em conta para possível utilização da ART em rega agrícola é o fator económico. O custo das infraestruturas (condutas, reservatórios, estações elevatórias) necessárias para abastecer as explorações agrícolas com água para rega é determinado principalmente pela distância medida entre o campo agrícola e a ETAR produtora da água a reutilizar (Monte e Albuquerque, 2010). Desta forma, nem sempre é possível fazer este tipo de reutilização da água, pois algumas vezes não se torna economicamente viável.

Já existem vários exemplos de aplicação prática da utilização de ART para rega agrícola, que podem ser observados na Tabela A.3, no Anexo A, onde se pode verificar por exemplo, que Israel consegue com este tipo de solução diminuir o consumo de água em 20% para rega com utilização de ART.

A partir da segunda metade do século XX, a reutilização de ART para rega aumentou significativamente, sendo o tratamento secundário geralmente reconhecido como o nível mínimo de tratamento prévio à reutilização para rega (Monte e Albuquerque, 2010). A Figura 5.1 apresenta um processo de tratamento convencional de lamas ativadas, ou seja, um possível tipo de tratamento secundário que as águas residuais são sujeitas de forma a poderem ser reutilizadas em rega agrícola. O processo começa por ter um pré-tratamento (gradagem e seguidamente desarenação), posteriormente é sujeita a um tratamento primário (decantação primária) e por fim a um tratamento secundário pelo processo de lamas ativadas. Após passar por estes processos de tratamento, o efluente secundário é desinfetado por cloração, de forma a apresentar a qualidade necessária para que possa ser reutilizado. O processo apresentado na Figura 5.1 provém de uma das soluções da matriz anteriormente apresentada na Figura A.1.



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Figura 5.1 - Possível tipo de tratamento para utilização da ART em rega agrícola.

Para que a ART possa ser reutilizada para rega agrícola, esta tem que cumprir certos parâmetros de qualidade. A qualidade da ART para rega deve satisfazer os requisitos agronómicos e os requisitos de proteção da saúde pública. Do ponto de vista agronómico, a água de rega deve satisfazer as necessidades hídricas das plantas, como tal, não deve conter substâncias prejudiciais que afetam o seu desenvolvimento (como por exemplo: excesso de sais dissolvidos, de sódio, de metais pesados e de cloro residual). Assim, deve transportar substâncias benéficas para o desenvolvimento das plantas, substâncias que nutrifiquem as plantas, como é o caso dos compostos de azoto e fósforo. Do ponto de vista da saúde pública, é exigido que o teor de microrganismos indicadores de contaminação fecal seja compatível com o tipo de exposição humana e animal à rega e aos produtos regados (Monte e Albuquerque, 2010).

Após as ART passarem pelos processos de tratamento necessários para serem reutilizadas na rega agrícola, devem satisfazer as exigências impostas pela legislação em vigor. As diversas características físico-químicas e microbiológicas das ART devem apresentar valores que não sejam superiores aos correspondentes Valores Máximos Recomendados (VMR), porém podem no máximo ter valores até aos Valores Máximos Admissíveis (VMA). Os VMR e os VMA estão referidos no Decreto Lei n.º 236/98, de 1 de agosto. Na Tabela 5.2 estão apresentados os respetivos VMR e os VMA dos diversos parâmetros da ART para rega. É ainda possível comparar o teor de alguns dos elementos

potencialmente tóxicos geralmente encontrados nas ART mais comuns em efluentes secundários em Portugal.

Tabela 5.2 – Parâmetros de natureza físico-química e microbiológica da qualidade de ART para rega.

Parâmetros	Expressão dos resultados	Concentração média em efluentes secundários em Portugal	VMR	VMA
Salinidade	mg/l		640	
Relação de Absorção de Sódio ⁽¹⁾	Parâmetro adimensional		8	
SST	mg/l		60	
pH	Escala de soresan		6,5 – 8,4	4,5 – 9,0
Alumínio	mg/L		5,0	20
Arsénio	mg/L	0,0059	0,10	10
Bário	mg/L		1,0	
Berílio	mg/L		0,5	1,0
Boro	mg/L	0,76	0,3	3,75
Cádmio	mg/L	0,002	0,01	0,05
Chumbo	mg/L	0,021	5,0	20
Cloretos	mg/L		70	
Cobalto	mg/L	< 0,03	0,05	10
Cobre	mg/L	0,125	0,20	5,0
Crómio total	mg/L		0,10	20
Estranho	mg/L		2,0	
Ferro	mg/L	0,31	5,0	
Flúor	mg/L		1,0	15
Lítio	mg/L		2,5	5,8
Manganês	mg/L	0,058	0,20	10
Molibdénio	mg/L	0,002	0,005	0,05
Níquel	mg/L		0,5	2,0
Nitrato	mg/L		50	
Selénio	mg/L		0,02	0,05
Sulfatos	mg/L		575	
Vanádio	mg/L		0,10	1,0
Zinco	mg/L		2,0	10,0
Coliforme fecal	Unidade por 100 ml		100	
Ovos de parasitas intestinais	Unidade por litro			1

(1) A relação de absorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l: $SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$

Fonte: adaptado de Decreto Lei n.º 236/98, de 1 de agosto e Monte e Albuquerque (2010).

5.1.1 Benefícios e desvantagens da reutilização das águas residuais tratadas em rega agrícola

A reutilização das ART para esta finalidade permite usar a água de forma mais racional, tornando possível uma diminuição do consumo de águas naturais, quando esta é escassa para utilizações mais nobres como o consumo humano. Contudo, esta reutilização pode comportar riscos para a saúde pública, quando estas não são controladas devidamente. Na Tabela 5.3 estão apresentados alguns benefícios económicos e ambientais e em contrapartida algumas das desvantagens da reutilização para rega.

Tabela 5.3 -Benefícios ambientais, económicos e desvantagens da reutilização das ART em rega agrícola.

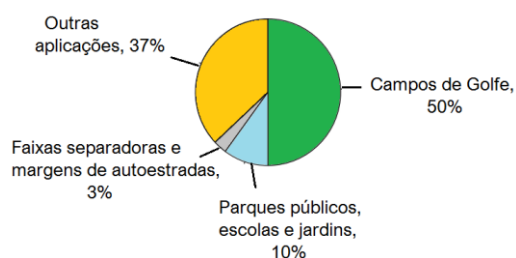
<p>Benefícios Ambientais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Poupanças de valiosos recursos de água – diminuindo a utilização de água de rede de abastecimento público e da captação de água subterrânea, aumentando a disponibilidade desses recursos para usos prioritários. • Redução do avanço da salinidade nas águas subterrâneas – ao diminuir a captação de água dos poços ligados aos aquíferos, aumenta-se o período de recarga natural e diminui-se o avanço de intrusão salina nos aquíferos. • Diminuição de fertilizantes utilizados na manutenção de culturas – a água residual doméstica tratada contém concentrações de azoto, fósforo, potássio, micronutrientes e matéria orgânica, em quantidades que a água potável não contém, logo a rega com ART permite uma redução efetiva da quantidade de fertilizante necessário para a manutenção de culturas em bom estado.
<p>Benefícios Económicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos custos de rega – a água da rede é paga a preços elevados enquanto a água tratada pode ser fornecida gratuitamente ou a baixo custo. • Reservas permanente de água – a água da ETAR estará sempre disponível, o que não acontece com as fontes naturais. • Redução dos custos de fertilização na manutenção de culturas – além da água tratada conter muitos dos elementos que constituem os fertilizantes permitindo a redução da sua utilização, a assimilação destes é mais eficiente quando diluídos na própria água de rega.
<p>Desvantagens</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de colmatação dos espaços vazios do solo devido aos SST. • Introdução no solo de elementos como fertilizantes não compatíveis com as necessidades das culturas. • Possibilidades de riscos para a saúde pública em virtude da presença de agentes patogénicos. • Possibilidade de contaminação de aquíferos. • Possibilidade de interferência ou inibição de crescimento das plantas devido à presença de iões potencialmente prejudiciais.

5.2 Reutilização de águas residuais tratadas para rega paisagística

A designação de rega paisagística consiste na rega de espaços verdes ornamentais, espaços estes já apresentados na Tabela 5.1. Nos países desenvolvidos, a rega paisagística constitui a segunda maior aplicação de reutilização das ART. Um dos grandes exemplos do uso desta reutilização são os EUA. Através de diversos exemplos de aplicação nos EUA, este tipo de reutilização tem vindo a alargar para a Europa e o Extremo Oriente. Em Portugal é cada vez maior o interesse deste tipo de reutilização

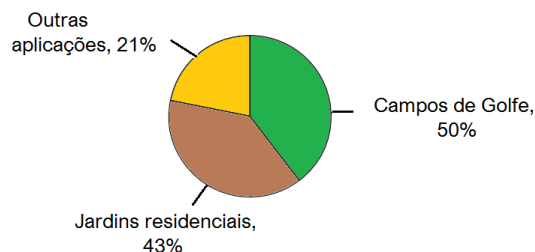
a aplicar em campos de golfe, principalmente nas regiões do Algarve e do Oeste (Monte e Albuquerque, 2010).

Em termos mundiais, os campos de golfe são os espaços verdes que mais usufruem da reutilização de ART em rega paisagística, caso este que se pode verificar, por exemplo, no Estado da Califórnia (ver Figura 5.2). Porém, em Estados como a Florida, 43% da totalidade de água reutilizada para rega paisagística é utilizada em jardins residenciais, como se pode verificar na Figura 5.3.



Fonte: adaptado de (Asano et al., 2007).

Figura 5.2 – Reutilização de ART em rega paisagística na Califórnia.



Fonte: adaptado de (Asano et al., 2007).

Figura 5.3 – Reutilização de ART em rega paisagística na Florida.

O interesse da reutilização de ART para rega paisagística pode ser determinado predominantemente por motivos económicos, como é o caso dos campos de golfe e dos empreendimentos imobiliários. Estes locais têm um consumo elevado de água para uso paisagístico, pelo que se torna elevado o custo da irrigação dos espaços verdes inerentes a estes. Outros dos interesses é a proteção ambiental. A reutilização das ART para esta categoria de utilização permite uma diminuição da descarga de efluentes nos meios recetores (rios, lagos, lagoas, entre outros). Para que a descarga seja realizada devidamente os efluentes residuais são submetidos a um tratamento muito exigente e nesta categoria de reutilização a exigência é menor. Resulta desta forma, algumas vantagens na reutilização dos efluentes para rega, entre as quais, a redução do custo de tratamento associado e a diminuição do consumo de água natural para rega (Monte e Albuquerque, 2010). Neste intuito, existem vários exemplos de aplicação da reutilização de ART em rega paisagística em diversos países, como se pode verificar na Tabela A.4.

Para que a rega paisagística seja realizada por ART, as águas residuais são submetidas a diversos processos de tratamento. De um modo geral, as águas residuais utilizadas em rega paisagística são tratadas ao nível de tratamento terciário e quase sempre submetidas a um processo de desinfecção (Monte e Albuquerque, 2010). Como anteriormente apresentado para a reutilização de ART em rega agrícola, a Figura 5.4 expõe um possível tipo de tratamento que as águas residuais poderão ser sujeitas, por forma a que a sua reutilização seja possível em campos de golfe. O efluente residual passa pelos seguintes processos de tratamento, de forma sequencial: gradagem, desarenação, decantação primária, lamas ativadas com nitrificação, remoção do fósforo com precipitação química e finalmente cloração. Esta sequência de processos de tratamento provém de uma das diversas possibilidades apresentadas na Figura A.1. O efluente resultante desta sequência de tratamento é designado por efluente terciário.



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Figura 5.4 – Possível tipo de tratamento para a utilização da ART em campos de golfe.

Quanto aos critérios de qualidade a apresentar pelo efluente a utilizar na rega paisagística, este é idêntico ao da rega agrícola, com a diferença de as plantas serem, neste caso, de interesse ornamental. O efluente a utilizar na rega deve satisfazer as necessidades hídricas das plantas, proporcionar o seu bom desenvolvimento vegetativo (qualidade agronómica) e deve ainda cumprir todos os requisitos de proteção da saúde pública. Uma das características mais relevantes no controlo da qualidade do efluente é a salinidade, em que as plantas devem ser pelo menos medianamente tolerantes, caso se trate de um efluente de ART (Monte e Albuquerque, 2010). Na Tabela A. 5 são apresentadas diversas plantas ornamentais, indicando a sua tolerância à salinidade. As características das ART para utilização em rega paisagística, devem ser controladas pelos mesmos parâmetros definidos para as ART a utilizar em rega agrícola, apresentados na Tabela 5.2.

Contudo, os efluentes tratados para utilização em rega paisagística podem trazer alguns riscos para a saúde pública. Estes riscos podem ser originados por: contacto direto humano com a água de rega, bem como com as plantas e superfícies e/ou ligações cruzadas entre sistemas de abastecimento de água de rega e de água para consumo humano. Porém, sendo o efluente proveniente de um tratamento terciário, as águas residuais tratadas a este nível, levam a que estes riscos de saúde pública por ingestão acidental ou contacto direto humano sejam muito reduzidos. (Monte e Albuquerque, 2010)

Em termos de riscos para a saúde pública é possível distinguir dois níveis de risco, aos quais se pode atribuir requisitos de qualidade microbiológica diferentes. Os espaços paisagísticos podem ser acessíveis sem restrições ou de acesso limitado (ver Tabela 5.4), devendo-se respetivamente, à maior e menor probabilidade do contacto direto humano com a água de rega (Asano et al., 2007). A proteção da saúde pública é assegurada se:

- Forem sempre utilizadas águas de rega devidamente controladas e adequadas, isto é, com qualidade microbiológica adequada e com tratamento apropriado e fiável;
- For minimizado a exposição humana aos fatores de risco através, por exemplo, de uma boa gestão do processo de rega e estabelecimento de restrições de acesso (por exemplo, vedar canteiros regados com ART)

Tabela 5.4 – Espaços paisagísticos de acesso sem restrições e de acesso limitado.

Exemplos de espaços paisagísticos de acesso sem restrições	<ul style="list-style-type: none"> • Parques Públicos; • Relvados de campos desportivos; • Espaços verdes de ornamentação paisagística em instalações públicas e comerciais; • Jardins de residências individuais e multifamiliares; • Campos de golfe.
---	--

Exemplos de espaços paisagísticos de acesso limitado	<ul style="list-style-type: none"> • Cemitérios; • Faixas laterais e separadoras de autoestradas; • Espaços verdes em instalações industriais.
---	---

5.3 Reutilização de águas residuais tratadas para a indústria

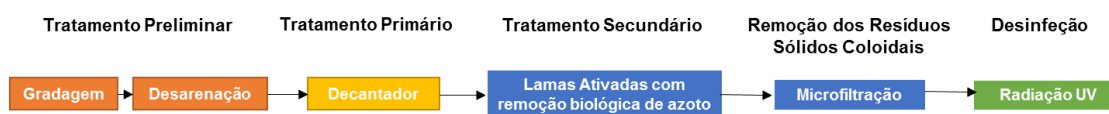
Quantitativamente, a reutilização industrial representa a terceira maior aplicação de reutilização de águas. A indústria frequentemente reutiliza a água para o mesmo tipo de utilização, sem submeter a nenhum tipo de tratamento, apenas por vezes é adicionada um certo volume de água para fazer face às perdas resultantes por evaporação. A este processo de reutilização é definido como reciclagem da água. Esta reciclagem de água é muito usada quando se trata por exemplo de água utilizada para arrefecimento (Monte e Albuquerque, 2010).

As indústrias são grandes consumidoras de água. As indústrias, como centrais de produção de energia térmica ou nuclear, refinarias de petróleo, siderurgias e outras indústrias transformadoras, são as que mais se têm esforçado para a reciclagem e reutilização de água para arrefecimento (Monte e Albuquerque, 2010).

Contudo, a utilização na área industrial é diversificada e o tipo de tratamento a que a água pode ser sujeita depende do tipo de utilização industrial. Por exemplo, são utilizados grandes volumes de água nas atividades de limpeza e na produção de vapor, em que na primeira atividade podem ser usadas águas de baixa qualidade e na segunda a qualidade da água tem que ser elevada (Asano et al., 2007). Daqui retira-se que o tipo de tratamento é muito diversificado e depende sempre de que tipo de atividade industrial.

Na água usada para arrefecimento (uma das atividades com maior uso de ART) é necessário um tratamento elevado, pois é crucial evitar os fenómenos de corrosão e incrustação das condutas. Para evitar estes fenómenos é necessário ter uma água de alta qualidade, isto é, as águas residuais devem ser sujeitas a um tratamento terciário. Este tratamento permite uma diminuição significativa do teor de SDT, de cloretos, de oxigénio dissolvido e de matéria orgânica, evitando os fenómenos supracitados (Asano et al., 2007).

Em seguida é apresentado na Figura 5.5 uma possível sequência de processos de tratamento que as águas residuais são sujeitas de forma a adquirirem a qualidade necessária (sequência de processos retirada da matriz da Figura A.1). O efluente usado neste tipo de atividade industrial é um efluente terciário. De forma sequencial, este efluente resulta dos seguintes processos de tratamento: tratamento preliminar (gradagem e desarenação), tratamento primário (decantação primária), tratamento secundário (lamas ativadas com remoção biológica de azoto), tratamento terciário/avançado (microfiltração e desinfecção por radiação ultravioleta).



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Figura 5.5 - Possível tipo de tratamento para a utilização da ART em água de arrefecimento.

Em Portugal, são consumidos cerca de 380 milhões de metros cúbicos de água pela indústria. Este consumo corresponde a um valor económico de estimado em 485 milhões de euros anuais. Cerca de 84% do consumo é proveniente de água de poços, furos ou de águas superficiais e os restantes 16% proveniente de abastecimento público. Os maiores consumos de água têm origem nos sectores de transformação, nomeadamente no fabrico de pasta de papel, papel e cartão (39%), produtos alimentares e bebidas (20%), metalúrgicas de base (11%), produtos químicos (10%) e têxteis (4%) (Monte e Albuquerque, 2010).

As indústrias acabam por vezes não recorrer à reutilização de ART nas suas atividades visto que muitas das vezes, as soluções necessárias para conseguir reutilizá-las não são economicamente viáveis. Para se ter uma ideia, na avaliação de custos para implementar soluções deste tipo de reutilização são incluídas as seguintes parcelas (Monte e Albuquerque, 2010):

- Construção ou beneficiação de infraestruturas: instalações de tratamento eventualmente necessárias para possibilitar a reutilização, sistemas de distribuição e reservatórios de armazenamento;
- Aquisição e reabilitação de equipamentos eletromecânicos;
- Custos de operação e manutenção, incluindo consumíveis e gestão de resíduos;
- Custos de pessoal (técnico especializado e administrativo);
- Controlo de qualidade do efluente.

Por estas diversas razões, a reutilização em Portugal de ART na indústria ainda é bastante diminuta, pois acarreta custos muito elevados.

5.4 Reutilização de águas residuais tratadas para a recarga de aquíferos

Outras das possibilidades da utilização das ART é a recarga de aquíferos. A reposição natural da água subterrânea ocorre muito lentamente. Nos últimos anos, a excessiva exploração das águas subterrâneas e aumento drástico do consumo destas águas a uma taxa maior do que a sua reposição natural, leva ao esgotamento deste recurso natural. A longo prazo, prevê-se, caso não se adotem soluções alternativas para reduzir este efeito, que haja um esgotamento das águas subterrâneas (Asano et al., 2007).

Face a esta situação, a recarga de aquíferos é uma solução alternativa e benéfica para as águas subterrâneas, em que esta é utilizada com um ou mais dos seguintes objetivos (Monte e Albuquerque, 2010) (Asano et al., 2007):

- Impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de águas subterrâneas ou sujeitas a elevada pressão de extração;
- Proteção de aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina;
- Armazenamento de água no solo: água da precipitação atmosférica e/ou ART para utilização futura;
- Minimizar os problemas futuros de aluimento de terras.

Deste modo, a recarga de aquíferos constitui uma forma de aumentar a disponibilidade de água subterrânea, culminando em muitos casos, por ser uma forma indireta de reutilização para produção

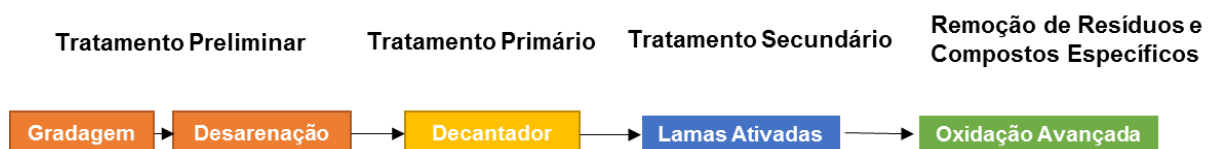
de água potável. Seguidamente são apresentadas na Tabela 5.5 outras vantagens deste tipo de reutilização e duas das suas desvantagens.

Tabela 5.5 – Vantagens e desvantagens da reutilização de ART em recarga de aquíferos.

Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Reposição de aquíferos esgotados; - Prevenção de aluimento de terras; - Redução de custos de energia no bombeamento de água de aquíferos profundos; - Baixa contaminação secundária; - A recarga de aquíferos pode melhorar a qualidade da água do aquífero, dependendo do seu tipo de tratamento; - Criação de barreiras hidráulicas contra a intrusão salina em zonas costeiras; - Possibilidade de armazenamento de água no solo, funcionando como reservatório subterrâneo, podendo ser menor o custo desta realização do que o custo de um reservatório de armazenamento convencional; - O aquífero subterrâneo serve como um eventual sistema de distribuição subterrâneo de água, o que elimina a necessidade de canais e condutas para a sua distribuição; - No aquífero subterrâneo não há perda por evaporação e são evitados os problemas de gosto e odor provocados pela poluição e pela floração de algas, que normalmente afetam as águas superficiais.
Desvantagens	<ul style="list-style-type: none"> - Ocorrência por vezes de reações químicas complexas; - Quando a ART a recarregar no aquífero provém de um tratamento por osmose inversa, pode ser necessário estabilizar o aquífero quimicamente.

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Os poluentes mais importantes presentes nas ART para a recarga de aquíferos são: os microrganismos patogénicos, nomeadamente os vírus entéricos, certos compostos orgânicos, como produtos farmacêuticos e de higiene pessoal e compostos persistentes, os metais pesados e os sais (Monte e Albuquerque, 2010). Assim, as águas residuais devem ser sujeitas a um tratamento de alto nível, pois o aquífero poderá ser uma fonte de captação para abastecimento público, industrial e de atividades agrícolas. A Figura 5.6 apresenta uma possível sequência de processos de tratamento para posterior recarga de aquíferos para uso indireto de água potável. Esta sequência é retirada da Figura A.1, onde as águas residuais passam por diversos processos de tratamento sequenciais: pré-tratamento, tratamento primário por decantação, tratamento secundário por lamas ativadas, tratamento terciário por microfiltração e tratamento avançado por osmose inversa seguido por oxidação avançada.



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

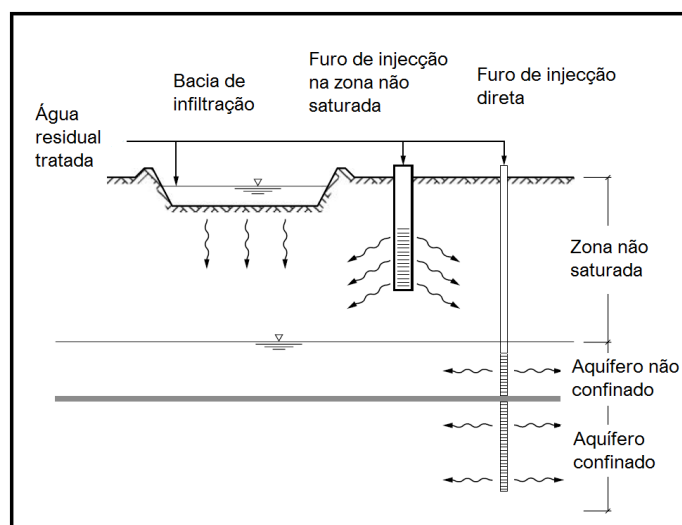
Figura 5.6 – Possível tipo de tratamento para a utilização de ART em recarga de aquíferos.

Os métodos de recarga dependem do tipo de aquífero (confinado ou livre). A afinação da qualidade do efluente tratado depende do tempo de armazenamento e da forma de escoamento no solo (Monte e Albuquerque, 2010). O nível de tratamento do efluente utilizado para a recarga dependerá sempre da futura utilização do aquífero. Seguidamente, a Tabela 5.6 apresenta e explica os diferentes métodos possíveis para a recarga de aquíferos com ART. Na Figura 5.7 é possível verificar como estes modos de processamento se podem realizar.

Tabela 5.6 – Métodos de recarga de aquíferos.

Métodos de Recarga	Processo
<p>Recarga direta no aquífero, cujos primeiros projetos foram executados no Arizona, nos EUA, na última década do século XX.</p>	<p>O efluente é introduzido diretamente abaixo do nível freático, em aquíferos confinados ou livres, Figura 5.7. Os furos de recarga direta podem ser utilizados não só para a recarga, mas também para a extração da água armazenada no aquífero. A recarga direta de aquíferos pode ser uma prática vantajosa em zonas de elevada inclinação do terreno ou onde a disponibilidade de área e o seu custo inviabilizam economicamente a utilização de um sistema de infiltração no solo. Trata-se de um método mais adequado quando se pretende uma regularização rápida do nível freático ou uma ação rápida para a proteção de aquíferos contra a intrusão salina. Entre as principais desvantagens destacam-se os custos associados a gastos de energia, processos para afinação do efluente (destinados a prevenir o risco de alteração da qualidade da água no meio recetor), estruturas para armazenamento ou compensação, especialmente úteis em situações de escassez ou de extração excessiva.</p>
<p>Recarga indireta pressupondo a utilização de um sistema de infiltração no solo, como bacias de infiltração. Recarga indireta por infiltração.</p>	<p>O efluente, após passar por uma camada de material poroso, é introduzido no solo, normalmente, na zona não saturada. As estruturas mais utilizadas são as bacias de infiltração Figura 5.7, naturais ou construídas, com ou sem vegetação, fluxo vertical, horizontal ou subsuperficial. As camadas filtrantes podem ser constituídas por material natural, do próprio solo ou de empréstimo, ou produzido industrialmente, compactadas de acordo com as velocidades de infiltração desejadas. A recarga indireta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em zonas de sobre exploração do recurso, além de funcionar como processo de tratamento. As principais desvantagens deste método residem na necessidade de remoção de lamas ou de substituição da camada filtrante e o controlo do desenvolvimento excessivo de vegetação.</p>
<p>Recarga indireta por furos de injeção no solo, na zona não saturada acima do nível freático, praticada desde os anos 60.</p>	<p>Exige a existência de uma zona não saturada acima do nível freático e é uma solução vantajosa em áreas urbanas onde a pouca disponibilidade de terreno, associado ao seu elevado custo, são fatores limitantes para a implantação de zonas de infiltração ou tratamento. Apresenta as vantagens acrescidas da afinação do efluente na zona não saturada e de poderem ser utilizados vários pontos de injeção, o que, comparativamente com a solução centralizada de infiltração no solo, pode resultar na minimização de custos.</p>

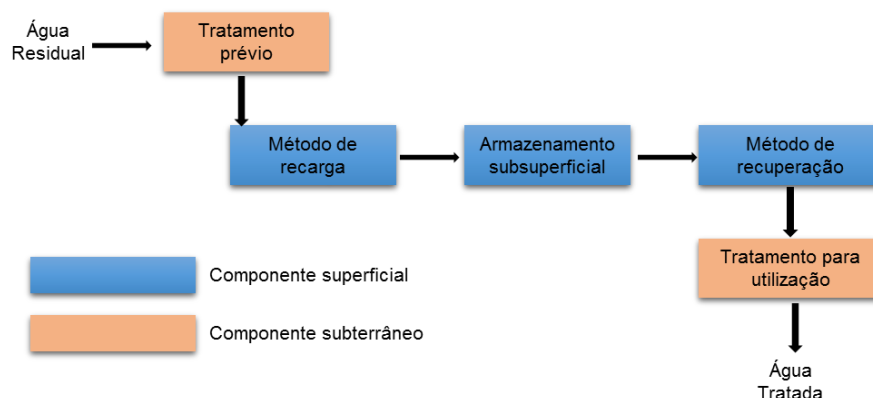
Fonte: Monte e Albuquerque (2010).



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Figura 5.7 – Métodos de recarga de aquíferos.

Os sistemas de recarga de aquíferos é composto normalmente por um sistema de tratamento, por infraestruturas de armazenamento ou injeção, antes da recarga e ainda, por uma componente subterrânea que inclui o sistema de introdução da água residual no solo (direto ou indireto), conforme se encontra apresentado na Figura 5.8.



Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque (2010).

Figura 5.8 – Componentes de um sistema de recarga.

Os fatores com maior peso na utilização desta tipologia de reutilização ou na seleção de um dos três métodos de recarga, são as características hidrogeológicas do aquífero e a disponibilidade de terreno, como se pode observar na Tabela 5.7. É também possível observar que, consoante o tipo de método utilizado, está inerente um tipo de tratamento diferente a montante do aquífero.

Tabela 5.7 – Condições de utilização dos diferentes métodos de recarga.

Parâmetro	Recarga direta	Recarga indireta com Infiltração	Recarga indireta por furos de injeção
Tipo de aquífero	Confinado e livre	Livre	Livre
Ponto de injeção	Zona saturada	Zona não saturada	Zona não saturada
Tratamento a montante	Secundário, terciário e de afinação	Secundário	Secundário ⁽¹⁾
Taxa de aplicação	2.000 – 6.000 m ³ /furo.d	1.000 – 20.000 m ³ /ha.d	1.000 – 3.000 m ³ /furo.d
Disponibilidade de terreno	Baixa	Elevada	Baixa
Tempo de vida médio (anos)	25 -50	>100	5 – 20
Manutenção	Desinfecção e Rebaixamento de nível	Remoção de lamas e de vegetação morta	Limpeza e desinfecção

(1) Pode ser necessário tratamento adicional se as características da zona não saturada não garantirem a afinação do efluente.

Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque (2010).

5.5 Reutilização de águas residuais tratadas para usos ambientais e recreativos

Este tipo de reutilização consiste na reutilização de águas residuais em massas naturais e artificiais, com vista à prática de atividades recreativas e/ou à preservação ou desenvolvimento de habitats (Monte e Albuquerque, 2010). Na Tabela 5.8 estão explanados algumas das aplicações possíveis, bem como o efeito que poderá ter a utilização de ART a nível ambiental e recreativo.

Tabela 5.8 – Tipos de aplicações de ART para usos ambientais e recreativos.

Tipo de aplicação	Efeito ambiental	Efeito recreativo
Conservação de zonas húmidas naturais e artificiais	A ART pode ser utilizada para recuperar algumas zonas húmidas de forma a permitir a preservação de habitats para animais selvagens. As ART consoante o tipo de tratamento, podem melhorar a qualidade da água das zonas húmidas.	Possível criação de zonas húmidas para recrear um espaço habitacional para diversas espécies de animais selvagens, onde por exemplo grupos escolares podem visitar e conhecer essas espécies.
Reforço do caudal de cursos de água	O principal objetivo deste reforço é manter o caudal necessário nas zonas húmidas, de forma a proteger os habitats naturais dos peixes. Torna-se bastante importante em anos de seca.	Mantém o caudal de riachos que, principalmente em áreas urbanas, são utilizados para passeios ribeirinhos e por vezes possível atividade de pesca. Em certos cursos de água reforçados com ART de alta qualidade, será possível o contacto direto humano, como banhos.
Alimentação de lago e lagoas naturais ou artificiais	Os lagos e as lagoas, são locais onde habitam uma grande diversidade de peixes e aves. No entanto, quando estes são alimentados por ART, poderá servir, não só para animais selvagens, mas também para outras espécies, como vegetação.	Os passeios de barco e a pesca, são as atividades recreativas com maior atração nestes locais. A prática de atividades náuticas, como banhos, dependerá sempre da qualidade da água, não sendo muito comum. Os espelhos de água surgem como uma melhoria significativa em termos estéticos destes locais.
Produção de neve artificial	Em regiões frias, a neve artificial pode ser usada como forma de armazenamento de água no inverno, para que depois da primavera, após degelo, haja uma contribuição de água para os cursos de água.	A neve artificial, serve muitas vezes para complementar a neve natural existente no local, de forma a que seja possível, nas melhores condições, praticar desportos (esqui, snowboard, etc.).

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Nos países desenvolvidos (como os EUA, Japão e a região autónoma da Catalunha) a reutilização de ART para usos recreativos e ambientais, constitui o quinto domínio de reutilização. Um bom exemplo ilustrativo deste interesse é o estado da Califórnia, onde 10% das águas residuais reutilizadas são para usos recreativos (Monte e Albuquerque, 2010).

A reutilização de água para usos recreativos pode ser dividida em dois tipos de uso, uso recreativo sem restrições e uso recreativo restrito, em que:

- Uso recreativo sem restrições: relativo à reutilização de águas residuais em domínios em que é provável e não controlado o seu contacto com o Homem, embora sejam observadas boas práticas de aplicação (Monte e Albuquerque, 2010);

- Uso recreativo restrito: pressupõe a reutilização de águas residuais em domínio em que, apesar ser possível o contacto com o homem, este é passível de ser controlado, desde de que sejam sempre observadas boas práticas de utilização (Monte e Albuquerque, 2010).

Nas diversas aplicações existentes na reutilização de águas residuais, o fator mais importante é salvaguardar a saúde pública. Portanto, os parâmetros de qualidade microbiológica são de primordial importância (Monte e Albuquerque, 2010). A turvação, o teor de SST e de coliformes fecais são os parâmetros mais relevantes no uso de ART para este tipo de aplicações. A Tabela 5.9 apresenta os VMA das ART a utilizar de forma a cumprir os requisitos de qualidade. De salientar ainda que os critérios de qualidade para águas balneares, definidos através do Decreto-Lei n.º 135/2009, e alterado pelo Decreto-Lei n.º 113/2012, apresentam como principais parâmetros de análise as concentrações de E. Coli e Enterococcus, estabelecendo um limite de 500 e 200 ufc/100 ml, respetivamente, para uma qualidade da água Boa.

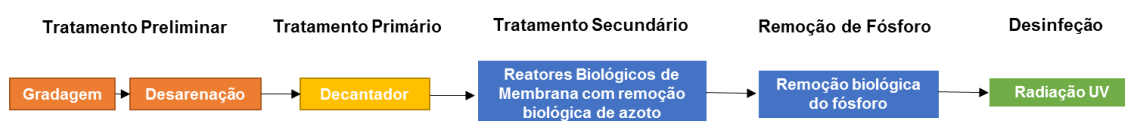
Tabela 5.9 – Requisitos de qualidade da água a reutilizar para diversos usos ambientais e recreativos (VMA).

Parâmetro	Unidades	Tipologia de uso		
		Ambiental	Recreativo	
			Não restrito	Restrito
Amónio	mg/L	2		
Cloro residual	mg/L	0,1	1	
Coliformes fecais	UFC/100 mL	Não detetável ⁽¹⁾ a 75	Não detetável ⁽¹⁾ a 75	800
CBO ₅ mg/L	5 - 20	5	30	
Fósforo total (mg/L)	mg/L	2	-	-
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	
SST mg/L	20	30	30	
Turvação	UNT		2	5
Tratamento mínimo		Secundário, terciário	Secundário, terciário, afinação, desinfecção	Secundário, terciário, afinação, desinfecção

(1) Sempre que se admitir o contacto direto com o público.

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007) e Monte e Albuquerque (2010).

Seguidamente é apresentado uma possível sequência de tratamento de águas residuais de forma a que cumpram os requisitos de qualidade para usos ambientais e recreativos, ilustrado na Figura 5.9.



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007).

Figura 5.9 – Possível tipo de tratamento para utilização de ART em usos recreativos e ambientais.

O tratamento apresentado na figura anterior provém de uma das diversas soluções apresentadas na Figura A.1. Sequencialmente as águas residuais são sujeitas aos seguintes tratamentos: pré-tratamento, decantação primária, remoção biológica de azoto e fósforo através de reatores biológicos de membrana e desinfecção por radiação ultravioleta.

5.6 Reutilização de águas residuais tratadas para usos urbanos não potáveis

As ART podem ser aplicadas em algumas utilizações urbanas que consomem água potável sem que seja necessário usar água de tão elevada qualidade, designadamente:

- Combate a incêndios;
- Descarga de autoclismos;
- Construção pesada;
- Varrimento de coletores;
- Lavagem de equipamentos, passeios e vias;
- Lavagem de espaços e equipamentos de apoio à construção;
- Humedecimento do solo em obras de terra;
- Produção de materiais de construção, como cimento e estuque;
- Fontes de espelhos de água;
- Sistemas de ar condicionado;
- Lavagem de equipamentos e meios de transporte (veículos, comboios e aviões);
- Fusão de neve;

Os custos de implementação deste tipo de reutilização levam a que, por vezes, não se torne possível a reutilização de ART nas utilizações acima descritas. Na maioria destas aplicações, é necessária a instalação de uma rede própria para as ART, o que praticamente significa numa duplicação do investimento, visto que a rede de água potável é sempre necessária. Assim, este é um fator que muitas vezes é ponderado nos vários projetos de reutilização e que impossibilita economicamente a sua realização, exceto quando a zona de tratamento de águas residuais se encontra nas proximidades do ponto de utilização. Os custos das infraestruturas, como reservatórios de armazenamento e instalações de tratamento complementar, também pesam significativamente nos custos do projeto (Monte e Albuquerque, 2010).



Fonte: <http://www.cntdespoluir.org.br>

Figura 5.10 – Lavagem de veículos com água reutilizada.



Fonte: <https://jpn.up.pt>

Figura 5.11 – Descarga de autoclismo com água reutilizada.



Fonte: (Asano et al., 2007)

Figura 5.12 – Hidratante abastecido por ART.

As águas cinzentas provenientes dos edifícios de habitação individuais, constituem uma particularidade interessante da reutilização de águas residuais para fins não potáveis. Se a finalidade da utilização destas águas for, por exemplo, rega de espaços verdes ou a lavagem de equipamentos próximos das habitações, não implica necessariamente a duplicação da rede (Monte e Albuquerque, 2010).

A qualidade da ART constitui, naturalmente, um fator condicionante. A qualidade depende sempre de utilização para utilização. Por exemplo, para construção pesada e fusão de neve podem ser usados efluentes secundários, desde que sejam utilizadas de acordo com as práticas corretas para proteção dos operadores. Já ART para descarga de autoclismos deve apresentar características de qualidade que não favoreçam a ocorrência de crescimento de biofilmes nas paredes das tubagens, fenómenos de corrosão e incrustações (Monte e Albuquerque, 2010). Nas tabelas seguintes (Tabela 5.10 e Tabela 5.11) são apresentados os requisitos de qualidade das ART para que seja possível a sua reutilização em usos urbanos não potáveis. Em alguns casos, os valores presentes nas tabelas, são mais exigentes que os verificados no Decreto Lei n.º 236/98.

Tabela 5.10 – Requisitos de qualidade de ART a reutilizar para diversos usos urbanos (VMA).

Parâmetro	Uso não restrito		Uso restrito	
	Lavagem de pavimentos, passeios e vias	Rega de espaços verdes de acesso livre	Sanitários	Rega de espaços verdes de acesso condicionado
CBO ₅ (mg/L)	10	10	45	45
Cloro residual (mg/L)	Livre	0,1	0,1	0,1
	Combinado	0,3	1,0	1,0
Coliformes fecais (UFC/100 mL)	Não detetável	Não detetável	Não detetável	100
Odor	Não detetável	Não detetável	Não detetável	Não detetável
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
SST (mg/L)		20	45	45
Turvação (NUT)	2	2	2	2
Tratamento mínimo necessário	Secundário, desinfeção	Secundário, terciário, desinfeção	Secundário, desinfeção	Secundário, terciário

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007) e Monte e Albuquerque (2010).

Tabela 5.11 – Requisitos de qualidade de ART utilizadas em descarga de autoclismos e lavagem de ruas.

Parâmetro	Unidade	Descarga de autoclismos	Lavagem de ruas
Coliformes totais	UFC/100 mL	0 - < 100	Não detetável
Coliformes fecais	UFC/100 mL	< 10	Não detetável
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	UFC/mL	< 1	-
Turvação	UNT	2	2
CBO ₅	mg/L	< 5	10
Oxigénio dissolvido	% saturação	>50	-
Cor	% transmitância UV (254 nm)	60	
Odor	-	Ausência de odor desagradável	
Cloro residual	mg/L	0,1 -0,5	0,1 (livre) 0,4 (combinado)
ph	5,8 – 8,6	5,8 – 8,6	

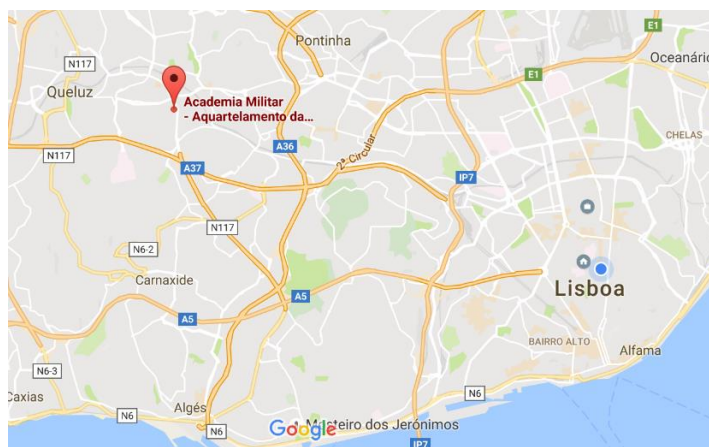
Fonte: adaptado de Asano et al. (2007) e Monte e Albuquerque (2010).

Além do controlo de qualidade do efluente a reutilizar, devem-se estabelecer campanhas de monitorização periódicas. Em utilizações de lavagem de equipamentos e domésticas não potáveis devem ser adotadas frequências de amostragem e análises que usualmente são utilizadas nas redes de abastecimento de água potável. Parâmetros como o pH, turvação, cloro residual e coliformes fecais e torais devem ser analisados diariamente. Outros parâmetros devem ser analisados semanalmente, como é o caso, por exemplo de: SST, azoto amoniacal e CBO. Mensalmente deverão ser sujeitos de análise, por exemplo: sulfatos, metais pesados e enterococos (Monte e Albuquerque, 2010).

Sempre que é adotada uma solução de reutilização de ART, os vários tipos de utilização urbana deverão ser devidamente identificados com sinalização apropriada, em particular em domínios em que é provável e não controlado o contacto do efluente com o público, de forma a prevenir situações indesejadas no que diz respeito aos riscos de saúde (Monte e Albuquerque, 2010).

6 Apresentação do caso de estudo – Aquartelamento da Academia Militar na Amadora

Apresenta-se neste capítulo uma descrição sumária das infraestruturas existentes no Aquartelamento da Academia Militar na Amadora (AAMA). O AAMA está localizado na Avenida Conde Castro Guimarães, na cidade da Amadora, em Portugal. É constituído por diversas infraestruturas, nomeadamente: edifício de comando, auditórios, edifícios de aulas, biblioteca, refeitório, edifício do aluno, dois edifícios de alojamentos de alunos, edifício de alojamento de oficiais, edifício de alojamento de sargentos e praças, cavaleriças e ainda um complexo desportivo. A Figura 6.1 apresenta a localização do aquartelamento e no Anexo E é possível verificar em planta todas as infraestruturas acima mencionadas.



Fonte: Google maps.

Figura 6.1 – Localização do AAMA.

O objetivo do trabalho, prende-se com o aproveitamento das águas residuais provenientes de um dos edifícios de alojamento dos alunos, apresentado na Figura 6.2. O aproveitamento consiste na captação das águas residuais vindas deste edifício, em que, posteriormente será definido um sistema de tratamento adequado para pequenos aglomerados, com a finalidade de reutilizar as águas residuais, após sofrerem o devido tratamento, para diversas atividades no AAMA. O objetivo primordial, é dispor de uma solução eficiente, que seja economicamente viável e que vá ao encontro do uso sustentável da água.

Além do edifício de alojamento dos alunos, outro edifício que merece destaque para este trabalho, é o das cavaleriças. As cavaleriças alojam em permanência cerca de quarenta cavalos. Devido às diversas atividades que se praticam na Academia Militar (AM), mais precisamente prática de equitação, os cavalos são lavados todos os dias. A lavagem de cavalos apresenta um elevado consumo de água, sendo que a reutilização de águas residuais poderá vir a ser benéfico, no que diz respeito à diminuição do consumo de água e consequentemente diminuição dos custos de consumo. A Figura 6.3 apresenta o edifício das cavaleriças e a Figura 6.4 o interior do mesmo.



Fonte: Google Earth.

Figura 6.2 – Edifício de alojamento dos alunos.



Figura 6.3 – Edifício das cavalariças.



Figura 6.4 – Interior das cavalariças.

6.1 Descrição do edifício de alojamento de alunos

O edifício apresentado na Figura 6.2 faz parte das diversas infraestruturas existentes do AAMA. Este, é constituído por um piso térreo e dois pisos elevados e apresenta uma altura aproximada de 13 metros. No ano letivo de 2015/2016 apresenta uma ocupação efetiva de 150 alunos. Porém, o edifício poderá ter uma ocupação máxima de 316 indivíduos.

Para além de contemplar quartos para dormitório, também é constituído por gabinetes, secretarias, locais de arrecadação de material e locais de lavagem e secagem de uniformes e botas. No Anexo F é apresentada a planta arquitetónica do piso térreo e de um piso elevado. A Tabela 6.1 apresenta um levantamento da quantidade de instalações no edifício.

Tabela 6.1 – Quantidade de instalações no edifício.

Instalações	Quantidade
Quartos de 4 elementos	72
Quartos de 2 elementos	13
Quartos individuais	2
Instalações Sanitárias (I.S.)	54
Gabinetes	2
Secretarias	2
Locais de arrecadação de material	2
Locais de lavagem e secagem	2

6.2 Determinação do caudal do efluente residual

Como já foi referido, neste edifício estão alojados 150 alunos, todavia a sua ocupação máxima é de 316 alunos. Uma das dificuldades em obter o caudal do efluente, prendeu-se no facto do AAMA apresentar dois contadores de consumo de água. Um dos contadores apresenta consumos

praticamente desprezáveis, enquanto que outro apresenta os consumos da maioria das infraestruturas do aquartelamento.

Com isto, a solução passou por fazer uma estimativa do número de atividades de consumo de água de um aluno durante o dia. Após esta determinação, o passo seguinte foi, de forma expedita, determinar o caudal de cada equipamento. Equipamentos como autoclismos, urinóis e máquinas de lavar roupa são de difícil determinação. Porém, a versão preliminar do Programa Nacional para o Uso Eficiente de Água (PNUEA) sugere que, um autoclismo com descarga completa, gasta em média 10 litros. Um urinol gasta 1 litro por cada descarga e uma máquina de lavar roupa com capacidade de carga de 7 quilogramas, gasta em média 45 litros por lavagem (Baptista et al., 2001). Estes valores foram os adotados para este tipo de equipamentos.

Através da análise do dia a dia do aluno na AM, foi definido o número de utilizações de cada equipamento de consumo. Note-se que, dadas as circunstâncias da vivência desta Instituição, o número de utilizações de certos equipamentos é mais elevado, comparativamente a outros edifícios de alojamento correntes, mais precisamente o número de banhos por dia e o número de utilização dos lavatórios.

Desta forma, tem-se todos os dados necessários para estimar o consumo total em litros por dia por aluno. As tabelas que se seguem apresentam todas as considerações feitas para se obter o consumo total no edifício.

Tabela 6.2 – Cálculo dos consumos no edifício de alojamento dos alunos.

			CONSUMO (litros/dia/aluno)
INSTALAÇÕES SANITÁRIAS	Lavatórios		
	Forma como se lavam os dentes	Torneira aberta	
	N.º lavagem por dia	3	30,00
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0	
	Tempo da atividade (minutos)	1,0	
	N.º lavagem de mãos ou outras utilizações	3	
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0	30,00
	Tempo da atividade (minutos)	1,0	
	Forma como se defaz a barba	Torneira aberta	
	N.º de vezes que se defaz a barba por semana	5	21,43
	Caudal da torneira (litros/minuto)	10,0	
	Tempo da atividade (minutos)	3,0	
	Chuveiros		
	N.º de banhos por dia	2	120,00
	Caudal do chuveiro (litros/minuto)	12,0	
	Tempo da atividade (minutos)	5,0	
	Autoclismos		
Tipo de descarga	Descarga completa		
N.º descargas por dia	2,0	20,00	
Volume da descarga (litros)	10,0		
Urinóis			
N.º descargas por dia	3,0	3	
Volume da descarga (litros)	1,0		
COSUMO TOTAL NAS I.S			224,43
Local de lavagem de botas e uniformes	Máquinas de lavar roupa		
	N.º de máquinas de lavar roupa	8	1,37
	N.º de utilizações por semana por máquina	4	
	Consumo por utilização (litros)	45,0	
	Capacidade (kg)	7,0	
	Zona de lavagem de botas		
	Forma de lavagem	Torneira aberta	
	N.º de utilizações por semana	2	8,57
	Caudal da torneira (litros/minuto)	30,0	
	Tempo da atividade (minutos)	1,0	
COSUMO TOTAL NO LOCAL DE LAVAGEM			9,94

Fonte: adaptado de Cantante (2016).

Tabela 6.3 – Consumo total no edifício de alojamento dos alunos.

Consumo total no edifício para 150 alunos	
Unidade	Valor
litros/dia/aluno	234,37
m ³ /dia/aluno	0,234
litros/dia	35155,71
m ³ /dia	35,16

Fonte: adaptado de Cantante (2016).

O caudal do efluente residual é determinado através do caudal total de consumo do edifício. Devido a perdas existentes nos sistemas de drenagem, perdas por evaporação, entre outras, o caudal do efluente residual é menor que o consumido. Geralmente o caudal do efluente residual é reduzido em cerca de 20% do caudal consumido. Porém, dado o número de utilizações ser maior que a normalidade, bem como o excessivo consumo dos alunos nas diversas atividades e as águas não derivarem da confeção de alimentos, adota-se um fator de afluência de 10%. Assim, o caudal do efluente residual a utilizar no sistema de tratamento é 90% do caudal de consumo (ver Tabela 6.4).

Tabela 6.4 – Caudal do efluente residual.

Caudal do efluente residual		
Fator de afluência	Unidade	Valor
10%	litros/dia/aluno	210,93
	m ³ /dia/aluno	0,211
	litros/dia	31640,14
	m ³ /dia	31,64

7 Dimensionamento sumário do sistema de tratamento

Após determinação do caudal do efluente residual a tratar, foi realizado um dimensionamento sumário das diversas componentes do sistema de tratamento. O dimensionamento terá como objetivo determinar as dimensões de cada componente de tratamento, de modo a que seja possível realizar uma análise económica da solução apresentada.

O sistema de tratamento adotado é constituído pelas seguintes componentes:

- Obra de entrada: constituída por um processo de gradagem;
- Fossa séptica;
- Leito de macrófitas;
- Desinfecção por radiação UV (Sistema *SolarUV Disinfection System*).

Este tipo de solução permitirá que a água tratada seja utilizada em diversas atividades. Rega de espaços verdes, descarga de autoclismos e de urinóis, lavagem de equipamentos, lavagem de vias e viaturas e lavagem de cavalos e das suas instalações, são as atividades de maior potencial de reutilização da água tratada no AAMA. Devido a algumas condicionantes, dependendo do tipo de reutilização, a desinfecção é necessária por forma a que a água apresente a devida qualidade para que seja possível o contacto direto com o público.

7.1 Obra de entrada e fossa séptica

A obra de entrada na solução adotada é constituída por um sistema de gradagem. Construtivamente, a obra de entrada deverá ter as seguintes propriedades (Matos e Ferreira, 2012):

- Uma câmara de duas grades (uma das quais de reserva), em que uma é de funcionamento mecânico e a de reserva de funcionamento manual;
- As barras das grades devem estar intervaladas entre si de 20 a 40 mm;
- As grades devem ser amovíveis, fazer um ângulo de 40° a 45° com o canal (de modo a facilitar a respetiva limpeza) e devem poder ser colocadas fora de serviço, através de adufas de canal localizadas a montante e a jusante de cada grade;
- A soleira do canal deve estar 5 a 10 cm abaixo da cota de soleira do coletor afluyente, por forma a permitir compensar as perdas de carga localizadas.

Em termos de dimensionamento, a obra de entrada não será estudada de forma pormenorizada, sendo adotada uma obra de entrada com grades manuais para 500 habitantes de acordo com Bartolomeu (1996). No Anexo B é apresentado de forma esquemática, em planta e em corte, a obra de entrada considerada para o sistema de tratamento. É considerado que a medição de caudal é feita a montante da obra de entrada desprezando-se o dispositivo de medição (*Parshall*) apresentado no Anexo.

A fossa séptica adotada na solução de tratamento é constituída por três compartimentos. A fossa é do tipo da apresentada no Anexo B, devendo respeitar todos os parâmetros apresentados no mesmo.

Segundo Pedroso (2014), o volume útil das fossas poderá ser determinado através da seguinte expressão:

$$V = P[(C_p \times t_r) + [C_d(t_l - t_d)] + \left(\frac{C_f + C_d}{2} \times t_d\right)] \times 10^{-3} \quad (1)$$

em que:

V – volume útil (m³)

P – população (número de utentes)

C_p – capitação de águas residuais (l/hab/dia)

t_r – tempo de retenção (dia)

C_d – capitação de lamas digeridas (l/hab/dia)

t_l – tempo entre limpezas (dia)

t_d – tempo de digestão de lamas (dia)

C_f – capitação de lamas frescas (l/hab/dia)

Para o cálculo, o número de utentes é definido pela ocupação atual do edifício (150 alunos) e o valor adotado para a capitação de águas residuais provém do cálculo estimado do efluente residual (ver subcapítulo 7.3). Segundo Pedroso (2014), os valores limites e recomendados em Portugal para as outras variáveis da Equação (1) são os apresentados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Valores das variáveis para o cálculo do volume da fossa séptica.

Variáveis	Valores limites	Valores recomendados para Portugal
Volume útil (m ³)	≥ 2	≥ 2
Capitação de lamas digeridas (l/hab/dia)	0,08 a 0,26	0,11
Capitação de lamas frescas (l/hab/dia)	0,30 a 1,10	0,45
Tempo de retenção (dia)	1 a 10	3 até 50 utentes 2 até 500 utentes
Tempo entre limpezas (dia)	180 a 1000	720
Tempo de digestão de lamas (dia)	40 a 90	60

Fonte: adaptado de Pedroso (2014).

Seguidamente são apresentados na Tabela 7.2 os valores utilizados para as várias variáveis, bem como o volume útil obtido através da Equação (1).

Tabela 7.2 – Critérios de dimensionamento e cálculo do volume útil da fossa séptica.

Variáveis	Símbolos	Unidade	Valor
População	P	hab	150
Capitação de águas residuais	C_p	(l/hab/dia)	210,93
Tempo de retenção	t_r	dia	2
Capitação de lamas digeridas	C_d	(l/hab/dia)	0,11
Tempo entre limpezas	t_l	dia	720
Tempo de digestão de lamas	t_d	dia	60
Capitação de lamas frescas	C_f	(l/hab/dia)	0,45
Volume útil	V	m ³	76,69

O volume útil da fossa séptica obtido foi de 76,69 m³. Sabido este valor, seguidamente são determinadas as dimensões da fossa, bem como de cada um dos seus compartimentos. Para esta determinação, respeitaram-se as relações dimensionais admissíveis apresentadas na Tabela 4.4. É adotada uma altura de 1,50 m e uma relação aproximada entre comprimento e largura de 3 para 1. A Tabela 7.3 apresenta os valores calculados e adotados para a capacidade e dimensões da fossa, como também de cada um dos seus compartimentos.

Tabela 7.3 – Dimensionamento da fossa séptica.

		Características da fossa séptica (dimensões e capacidade)				
		Altura (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
1º compartimento (C1)	Valor calculado	-	4,13	6,19	25,56	38,35
	Valor adotado	1,50	4,50	6,25	28,13	42,19
2º compartimento (C2)	Valor calculado	-	3,10	4,13	12,80	19,20
	Valor adotado	1,50	3,13	4,50	14,06	21,09
3º compartimento (C3)	Valor calculado	-	3,10	4,13	12,80	19,20
	Valor adotado	1,50	3,13	4,50	14,06	21,09
Fossa séptica	Valor calculado	-	4,13	12,38	51,13	76,69
	Valor adotado	1,50	4,50	12,50	56,25	84,38

Posto isto, a fossa séptica adotada tem um volume de 84,38 m³. Como já referido anteriormente, a obra de entrada terá as mesmas dimensões em planta. No Anexo H é possível observar o local de implantação da fossa e da obra de entrada, verificando a sua ocupação do terreno, visto que a planta se encontra à escala.

7.2 Leito de macrófitas

O dimensionamento do leito de macrófitas irá consistir, fundamentalmente, na determinação da área necessária de implantação e da altura dos próprios leitos. Segundo (Matos e Ferreira, 2012), a área mínima necessária para o leito de macrófitas, pode ser determinada através da aplicação da seguinte expressão:

$$A_{min} > Q \times t_{RH} \times \frac{\ln\left(\frac{CBO_a}{CBO_e}\right)}{K_t \times e \times n} \quad (2)$$

em que:

A_{min} – área mínima necessária (m²)

Q – caudal médio (m³/dia)

t_{RH} – tempo de retenção hidráulica (dia)

CBO_a – concentração da CBO₅ no afluente (mg/l)

CBO_e – concentração da CBO₅ no efluente (mg/l)

K_t – características do material de enchimento (variável adimensional)

n – porosidade média do leito (variável adimensional)

e – altura do leito (m)

Segundo o Decreto-lei n.º 152/97, de 19 de junho, o valor de CBO_5 , isto é, a carga orgânica biodegradável com uma carência bioquímica de oxigénio ao fim de cinco dias na água residual não tratada, é de 60 g/hab/dia. Assim, este valor é o utilizado no dimensionamento do leito. Segundo Matos e Ferreira (2012), pode assumir-se que a eficiência de remoção de CBO_5 nos órgãos a montante do leito é de 40 a 50% na fossa séptica. Dado que a solução de tratamento é constituída por um processo de gradagem e seguidamente por uma fossa séptica, é admitido que o valor de CBO_a antes da entrada para o leito é reduzida em 40% do valor inicial (60g/hab/dia). O valor de CBO_a a adotar no dimensionamento do leito, pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$CBO_a = \frac{f_r \times CBO_5 \times P}{Q \times 10^3} \quad (3)$$

em que:

CBO_a – concentração da CBO_5 no afluente após tratamento primário (mg/l)

f_r – fator de redução devido ao tratamento primário (valor adimensional)

CBO_5 – concentração de CBO_5 da água residual não tratada (mg/hab/dia)

P – população (número de utentes)

Q – caudal médio (m³/dia)

A Tabela 7.4 apresenta os valores adotados para as diversas variáveis da expressão (3), bem como o valor calculado de CBO_a , que será o utilizado na expressão (2).

Tabela 7.4 – Determinação da CBO_a .

Variáveis	Unidade	Valor adotado	CBO_a (mg/l)
f_r	-	0,40	113,78
CBO_5	(mg/hab/dia)	60000	
P	-	150	
Q	m ³ /dia	31,64	

O valor a admitir para a CBO_5 no efluente depende do grau de qualidade do efluente tratado que se pretende e está intrinsecamente ligado às diversas possibilidades de reutilização de águas residuais. Dado que a solução de tratamento adotada tem o objetivo a reutilização da água tratada em diversos usos urbanos não potáveis, o valor recomendado por Asano et al. (2007) e Monte e Albuquerque (2010) para estes usos é de 10 mg/l (ver Tabela 5.10). Este é o valor adotado para o dimensionamento, de forma a que o tratamento realizado pelo leito permita essencialmente o contacto do efluente tratado com o público.

Segundo Matos e Ferreira (2012), são apresentados na Tabela 7.5 os valores recomendados das restantes variáveis para a determinação da área mínima do leito. Note-se que o material de enchimento admitido é o areão.

Tabela 7.5 – Critérios de dimensionamento recomendados no dimensionamento de leitos de macrófitas.

Variáveis	Símbolos	Unidade	Valor
Tempo de retenção hidráulica	t_{RH}	dia	2
Características do material de enchimento	K_t	-	0,98
Porosidade média do leito	n	-	0,32
Altura do leito	e	m	0,6 a 0,9

Fonte: adaptado de Matos e Ferreira (2012).

Posto isto, torna-se possível a determinação da área mínima do leito através da expressão (2). A Tabela 7.6 apresenta os critérios de dimensionamento utilizados e o valor obtido para a área mínima.

Tabela 7.6 – Critérios de dimensionamento e cálculo da área mínima do leito.

Variáveis	Símbolos	Unidade	Valor
Caudal médio	Q	m^3/dia	31,64
Tempo de retenção hidráulica	t_{RH}	dia	2
Concentração da CBO5 no afluente	CBO_a	mg/l	113,78
Concentração da CBO5 no efluente	CBO_e	mg/l	10
Características do material de enchimento	K_t	-	0,98
Porosidade média do leito	n	-	0,32
Altura do leito	e	m	0,7
Área mínima calculada do leito	A_{min}	m^2	701

Segundo Galvão (2009), uma relação admissível entre o comprimento e largura do leito é de 2 para 1. Desta forma, a Tabela 7.7 apresenta as dimensões admitidas do leito e a área de implantação do mesmo.

Tabela 7.7 – Dimensões adotadas para o leito de macrófitas.

Dimensões adotadas no leito de macrófitas	
Relação entre comprimento e largura	2/1
Comprimento (m)	40
Largura (m)	20
Altura (m)	0,7
Área (m^2)	800
Volume (m^3)	560

No Anexo H é possível verificar o local de implantação do leito, bem como a área ocupada pelo mesmo.

7.3 Desinfecção

O sistema de desinfecção adotado para o caso em estudo foi o sistema já anteriormente explicado, o *Solar UV Desinfection System*.

O dimensionamento do sistema de desinfecção consiste essencialmente na determinação da quantidade de unidades de sistema. No Anexo D é apresentado um catálogo com as características técnicas de uma unidade de sistema de desinfecção. O único dado técnico necessário, por forma a determinar a quantidade de unidades necessárias, é a capacidade nominal de produção. Observa-se nesse catálogo que a capacidade de cada unidade de sistema é de 10 m³/dia.

Na solução de tratamento apresentada pretende-se que todo o efluente residual seja desinfetado. É tomada esta opção por duas razões fundamentais. A primeira, consiste na minimização dos riscos de saúde pública, tornando-os praticamente inexistentes. A segunda, caso não se consiga reutilizar todo o efluente tratado nas diversas possibilidades de reutilização, o efluente possa ser descarregado no meio envolvente ou mesmo no sistema de drenagem de águas pluviais, sem que apresente posteriores custos na faturação de saneamento, visto que a água já se encontra devidamente tratada.

Desta forma, dado que o caudal do efluente residual é de cerca 30 m³/dia (ver Tabela 6.4) e cada unidade de sistema tem uma capacidade de desinfecção de 10 m³/dia, serão necessárias três unidades de sistema de desinfecção. Posto isto, o sistema de tratamento será composto por três unidades.

8 Viabilidade económica da solução de tratamento

Neste capítulo é feito uma estimativa de todos os custos associados ao sistema de tratamento adotado. A solução de tratamento adotada está apresentada no Anexo H. Esta solução é dividida em três sistemas:

- O primeiro, contempla o sistema de drenagem das águas residuais domésticas, em que é captada a água do sistema de drenagem já existente e é encaminhada até à obra de entrada;
- O segundo, contempla o sistema de tratamento, constituído por: obra de entrada (processo de gradagem), fossa séptica, leito de macrófitas e as três unidades de desinfeção;
- O terceiro e último, contempla o sistema de abastecimento de água tratada para as cavalariças (um dos locais onde é possível a reutilização): a água desinfetada é armazenada num reservatório e através de uma estação elevatória é abastecida a rede de abastecimento, para posterior utilização.

Após estimar o custo total da solução estudo, é feita uma análise económica que permita concluir se a solução adotada é ou não economicamente viável.

8.1 Estimativa de custos do sistema de drenagem das águas residuais

Conforme é apresentado na planta do Anexo H, o sistema de drenagem tem início no local de captação das águas residuais domésticas. A captação é realizada em dois locais distintos, como se pode verificar na planta. Após captação, a rede é traçada até à obra de entrada da zona de tratamento.

O custo estimado para este sistema será aproximado, visto que não foi realizado o dimensionamento da própria rede, apenas foi traçada. Para fazer a estimativa do custo do sistema, foi admitido que o sistema é composto por coletores enterrados em terreno não agressivo, formado por tubos corrugados de policloreto de vinilo (PVC), com uma rigidez anelar nominal de 8 kN/m² e com um diâmetro igual ao da rede já existente (ver Anexo F) de 250 mm e 315 mm.

Através da consulta efetuada numa página de internet (“Gerador de Preços. Espaços Urbanos. Portugal,” 2016), o custo obtido para o sistema foi de 44,15 € e 57,21€, por cada metro de construção, respetivamente para o diâmetro de 250 mm e de 315 mm. Posto isto, a Tabela 8.1 apresenta o custo estimado para o sistema de drenagem a implementar.

Tabela 8.1 – Estimativa do custo do sistema de drenagem.

	Unidade do custo	Comprimento (m)	Custo unitário	Custo do sistema	Custo total
Rede de drenagem em PVC (Ø250mm)	€/m	161,00	44,15	7 108 €	10 648 €
Rede de drenagem em PVC (Ø315mm)	€/m	61,87	57,21	3 540 €	

O custo obtido para o sistema de drenagem é de 10 648€. Note-se que o custo estimado tem em consideração todos os custos associados à implementação do sistema (transporte, material, mão de obra, aplicação e manutenção).

8.2 Estimativa de custos do sistema de tratamento das águas residuais

8.2.1 Obra de entrada e fossa séptica

Segundo Oliveira (2007), o custo relativo ao tratamento primário (gradagem manual seguida de uma fossa séptica), pode variar entre 8 000€ a 35 000€, no ano de 2007. Após consulta de outras estimativas, num orçamento apresentado por Bartolomeu (1996) relativo à construção de fossas sépticas de várias capacidades, o orçamento apresenta custos de 14 734€ e de 18 802€ para fossas com uma capacidade de 69 m³ e 98 m³, respetivamente.

A estimativa de custo da obra de entrada e da fossa séptica da solução estudada, é baseada nos valores anteriormente apresentados. Dado que os custos apresentados correspondem a anos transatos, estes terão que sofrer uma atualização devido à variação da taxa de inflação ao longo dos anos. Para atualização do custo recorreu-se ao *site* do Instituto Nacional de Estatística (Instituto Nacional de Estatística, 2016). A atualização tem por base as taxas de variação do Índice de Preços no Consumidor, sendo admitida uma média anual desde o ano de 1996 para 2016 para o custo estimado por Bartolomeu (1996), e de 2007 para 2016 para os custos estimados por Oliveira (2007), podendo observar esses mesmos valores na Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Valores de custos da obra de entrada e da fossa séptica atualizados para o ano 2016.

	Infraestrutura	Custo em 1996	Custo em 2007	Custo atualizado para 2016
Estimativa de custo segundo (Bartolomeu, 1996)	Fossa séptica de 69 m ³	14 734€	-	22 167 €
	Fossa séptica de 98 m ³	18 802€	-	28 316 €
Estimativa de custo segundo (Oliveira, 2007)	Obra de entrada e fossa séptica (entre 8000€ a 35000€)	-	8 000,00 €	8 823 €
		-	35 000,00 €	38 600 €

Através da análise da tabela anterior, existem várias possibilidades para a estimativa do custo para as duas componentes de tratamento. Dado que a fossa séptica a implantar tem uma capacidade de 84,38 m³ e de acordo com a estimativa apresentada por Bartolomeu (1996), o custo em 2016 rondaria os 25 000€. Porém, este custo não tem em conta a construção da obra de entrada. No entanto, ajuda a estimar o custo para as duas componentes de tratamento, em que será superior ao valor anteriormente referido. Assim, analisando o custo atual para a estimativa de Oliveira (2007), onde são contabilizadas as duas componentes, é determinado que o custo das duas componentes poderá ser o maior valor estimado por Oliveira (2007).

Resumindo, o custo estimado para estas duas componentes no presente trabalho é de 38 600€.

8.2.2 Leito de macrófitas

A estimativa de custos para a construção do leito de macrófitas será baseada nos custos apresentados por Oliveira (2007), sendo apenas atualizados para o ano de 2016. Os principais custos de construção são Oliveira (2007):

- Prospecção geotécnica: atendendo à natureza do solo, raramente é necessário este tipo de trabalhos.

- Limpeza do terreno: consiste essencialmente na preparação do terreno para a construção, sendo necessário por vezes o corte de árvores e o arranque de raízes.

- Escavação e terraplenagem: estes trabalhos consistem na escavação, aterro e terraplenagem do terreno, por forma a criar uma plataforma de trabalho. Através de escavações e aterros localizados são criados os leitos e as inclinações.

- Impermeabilização dos leitos: na maioria dos casos a impermeabilização é feita por uma geomembrana, sendo o material mais utilizado o PEAD.

- Meio de enchimento: consiste no preenchimento do leito por materiais porosos que permitam assegurar uma adequada distribuição e recolha do efluente, bem como um adequado desenvolvimento das plantas;

- Estruturas de entrada e saída, canalizações: as estruturas de entrada e saída são algumas modificações efetuadas com tubos e as caixas de visita são normalmente do tipo das utilizadas nas redes de drenagem de esgotos. Existem ainda coletores entre o tratamento primário e os leitos, nos “bypass” e na ligação dos pontos de saída dos leitos para o meio recetor;

- Plantas: de modo a que seja mais rápida e prática a plantação de macrófitas, são normalmente compradas a produtores locais.

Na Tabela 8.3 é apresentado o custo estimado para a construção do leito de macrófitas anteriormente dimensionado.

Tabela 8.3 – Estimativa do custo do leito de macrófitas.

Tipo de trabalhos/materiais	Custo em 2007 (Oliveira, 2007)	Custo atualizado para 2016	Comprimento estimado das canalizações (m)	Área do leito (m ²)	Volume do leito (m ³)	Custo do leito em estudo
Prospecção geotécnica	10 000 €	-	-	-	-	Não necessita
Limpeza do terreno	2 500 €/m ²	-	-	-	-	Encontra-se limpo
Escavação e terraplenagem	4 €/m ³	4,42 €/m ³	-	-	560	2 475 €
Impermeabilização do leito com PEAD	15 €/m ²	16,56 €/m ²	-	800	-	13 248 €
Meio de enchimento	20 €/m ³	22,08 €/m ³	-	-	560	12 365 €
Canalizações	8 €/m	8,81 €/m	80	-	-	705 €
Plantação de macrófitas	2 €/m ²	2,21 €/m ²	-	800	-	1 768 €
Custo total estimado do leito						30 561 €

O custo obtido para a construção do leito de macrófitas é de 30 561€. Note-se que, para a determinação deste custo, foram atualizados os valores de custo provenientes do ano 2007 para 2016. Esta atualização foi procedida de forma análoga aos valores da obra de entrada e da fossa séptica.

8.2.3 Sistema de desinfecção

Como já foi referido no dimensionamento do sistema de desinfecção, serão utilizadas três unidades para a solução em estudo. Segundo os valores de custo apresentados por SWINGS Project (2016), cada unidade de desinfecção, com as características que se encontram no catálogo do Anexo D, apresenta um custo de 7 330€. Dado que são necessárias 3 unidades de desinfecção para satisfazer todas as necessidades pretendidas, o custo total de desinfecção será o custo de três unidades, ou seja, de 21 990€.

8.3 Estimativa de custos do sistema de abastecimento

Os custos do sistema de abastecimento englobam o custo do reservatório, o custo do equipamento da estação elevatória e o custo de construção da rede de abastecimento.

8.3.1 Reservatório

De forma a estimar o custo do reservatório a utilizar é necessário definir a capacidade do mesmo. Dado que as unidades de desinfecção têm uma capacidade total de 30 m³/dia, optou-se por um reservatório com capacidade de 60 m³, de modo a que este tenha capacidade de armazenar a água durante dois dias, em que não haja consumo.

Após consulta de alguns catálogos, o custo estimado para um reservatório horizontal para enterrar em PEAD foi de 15 970€ (Ecoted, 2016). No Anexo G é apresentado um catálogo de um possível reservatório a utilizar, bem como o preço do mesmo.

8.3.2 Estação elevatória e tubagem de abastecimento

Existem várias possibilidades de reutilização para a água tratada armazenada no reservatório. Uma das possibilidades é a reutilização nas cavalariças, para lavagem das instalações e dos cavalos. De forma a poder estimar os custos de equipamento da estação elevatória e das tubagens de abastecimento, é necessário estimar o consumo de água nestas atividades. A lavagem dos cavalos é realizada todos os dias, bem como as suas instalações (principalmente a entrada para as cavalariças). A lavagem dos cavalos demora em média 3 minutos por cavalo e a entrada das cavalariças 5 minutos. Durante todo o ano, em média, estão alojados 40 cavalos. Posto isto, a Tabela 8.4 apresenta o consumo estimado para estas duas atividades.

Tabela 8.4 – Consumo estimado nas cavalariças.

		Consumo (litros/dia)	Consumo (m ³ /ano)
Lavagem de Cavalos			
N.º de cavalos	40	3600	1314
Nº de lavagens por dia	1		
Tempo de Lavagem (minutos)	3,0		
Caudal da torneira (litros/minuto)	30		
Lavagem da entrada das cavalariças			
N.º de Lavagens por dia	1	150	54,75
Tempo de Lavagem (minutos)	5,0		
Caudal da torneira (litros/minuto)	30		
Consumo total das atividades		3750	1368,8

A tubagem para abastecer as cavalariças não foi dimensionada, visto que a intenção é simplesmente obter uma ordem de grandeza do seu custo. Assim, sabendo que o caudal é de 3,8 m³/dia e que a altura de elevação não é um valor elevado, uma tubagem em PEAD de 63 mm de diâmetro e com uma pressão nominal de 10 atm (PN10) será suficiente para fazer o abastecimento nas melhores condições. No Anexo I é possível observar a localização da estação elevatória e a tubagem de abastecimento, em que esta apresenta um comprimento de 61,5 metros.

Definidos o consumo de água nas cavalariças e a tubagem de abastecimento, torna-se possível o cálculo do custo de equipamento da estação elevatória. O custo pode ser obtido através da seguinte expressão (Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura e Georecursos, 2016):

$$C_e = 1317 \times Q^{0,769} \times H^{0,184} + 2092 \times (Q \times H)^{0,466} \quad (4)$$

em que:

C_e – custo de equipamento (€)

Q – caudal (l/s)

H – altura de elevação (m)

No Anexo H é possível verificar o desnível entre o reservatório e o ponto de consumo nas cavalariças. Observa-se que o desnível entre o local do reservatório e o ponto de consumo é de cerca de 2 metros e o comprimento da tubagem é de cerca de 62 metros. Como apenas se pretende obter uma ordem de grandeza do investimento necessário para adquirir o equipamento da estação elevatória, opta-se por definir uma altura de elevação de 5 metros, sendo um valor razoável dado as condições do terreno e do material da tubagem. A Tabela 8.5 apresenta o custo de equipamento da estação elevatória obtido pela Equação (4). Note-se que o custo estimado é muito preliminar, visto que ainda se deveria considerar o custo de construção civil. Porém, a equação admitida para o custo de equipamento é indicada para redes de abastecimento de grandes dimensões, pelo que o preço obtido compensará o custo a considerar para a construção civil.

Tabela 8.5 – Custo de equipamento da estação elevatória.

Caudal de consumo (l/d)	3750
Caudal de consumo (l/s)	0,043
Altura de elevação (m)	5
Custo de equipamento	1 185 €

Por fim, segundo o Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura e Georecursos (2016) o custo de implementação de uma rede de abastecimento com PEAD de diâmetro 63 mm e com uma PN10 é de 37€ por metro de construção. A Tabela 8.6 apresenta o custo da rede de abastecimento para a solução em estudo.

Tabela 8.6 – Custo da rede de abastecimento.

	Custo unitário	Comprimento da tubagem (m)	Custo da rede em estudo
Tubagem em PEAD, Ø63mm, PN10	37 €/m	61,5	2 276 €

8.4 Custo total da solução em estudo

O custo da solução em estudo é dado pelo somatório dos custos relativos a cada sistema. Deste modo, a Tabela 8.7 apresenta o investimento necessário para a solução em estudo.

Tabela 8.7 - Custo de implantação da solução em estudo.

Sistemas	Componentes	Custo por componente	Custo por sistema	Percentagem relativa ao custo total	Custo total da solução
Sistema de drenagem	Rede em PVC Ø250mm	7 108 €	10 648 €	9%	121 230 €
	Rede em PVC Ø315mm	3 540 €			
Sistema de tratamento	Obra de entrada e fossa séptica	38 600 €	91 151 €	75%	
	Leito de macrófitas	30 561 €			
	Desinfecção	21 990 €			
Sistema de abastecimento	Reservatório	15 970 €	19 431 €	16%	
	Estação elevatória	1 185 €			
	Rede em PEAD, Ø63mm, PN10	2 276 €			

Além do custo anteriormente apresentado ainda é necessário ter em consideração os custos associados à operação e manutenção da solução de tratamento. As principais tarefas de operação e manutenção são:

- Limpeza das grades;
- Remoção de lamas do tratamento primário;
- Verificação e ajuste do nível de água dentro do leito;

- Limpeza e desobstrução das estruturas de entrada e saída;
- Corte e remoção das plantas.

Segundo Oliveira (2007), os custos estimados para estas tarefas totalizam cerca de 1 200 €/ano para todo o sistema, no ano de 2007. Como já foi feito para alguns custos anteriormente apresentados, o custo a adotar para estas tarefas será baseado no custo de Oliveira (2007), sendo atualizado para o ano 2016. Assim, o custo estimado para a operação e manutenção do sistema adotado é de 1 323 €/ano.

É importante referir que o custo da solução em estudo poderá ser menor, visto que o Exército possui meios qualificados para a realização de determinados trabalhos, bem como de mão de obra para a realização de diversas tarefas. Contudo, este aspeto não foi considerado no custo total da solução, admitindo que todos os trabalhos para implementação da solução são realizados por entidades especializadas para os trabalhos considerados.

8.5 Viabilidade económica da solução adotada

Nesta hipótese de reutilização apenas se considera a utilização da água tratada nas atividades anteriormente descritas para as cavalariças. A solução adotada tem uma produtividade de 30 m³/dia e o consumo diário nas atividades das cavalariças é de 3,8 m³/dia, havendo assim uma quantidade de água tratada que não será utilizada. Esta será descarregada no meio envolvente ou então no sistema de drenagem de águas pluviais.

A qualidade da água tratada permite que água seja descarregada no sistema de drenagem sem que apresente custos municipais relacionadas com o saneamento, visto que não necessitará de qualquer tipo de tratamento adicional por parte do município após a descarga. Com esta solução é possível haver poupanças no que diz respeito à faturação de água e saneamento, nomeadamente:

- De todos os custos associados ao saneamento do edifício de alojamento dos alunos;
- Redução de custos do consumo de água e saneamento das cavalariças.

Segundo o Edital n.º 8/2015 elaborado pela Câmara Municipal da Amadora, o preço a pagar por m³ de água a partir de 2016 é de 3,8697 € e de saneamento é de 4,1793 € para propriedades pertencentes ao Estado Português, como é o caso.

Após verificação de faturas relativas à água e ao saneamento do AAMA, observou-se que os m³ contabilizados de saneamento são os mesmos m³ de água consumidos. Desta forma, todos os custos apresentados terão por base o consumo de m³ de água.

De seguida é apresentada na Tabela 8.8 uma estimativa de consumo de m³ de água por ano no AAMA no edifício de alojamentos dos alunos e nas cavalariças, bem como o montante monetário gasto pelo AAMA por ano, relativo ao saneamento e ao consumo de água.

Tabela 8.8 – Estimativa do valor pago em água e saneamento pelo AAMA.

	Consumo de água (m ³ /ano)	Saneamento (m ³ /ano)	Custo unitário (€/m ³)		Valor pago em água (€/ano)	Valor pago em saneamento (€/ano)
			Água	Saneamento		
Edifício de alojamentos dos alunos	12 656	12 656	3,8697	4,1793	48 975	52 893
Cavalariças	1 369	1 369			5 298	5 721
Total		-			54 273	58 615

Da análise da tabela anterior conclui-se que os montantes gastos em água e saneamento são consideravelmente elevados. Caso seja adotada a solução de tratamento, é possível reduzir significativamente estes custos. A solução a adotar permite reduzir na totalidade o gasto em saneamento do edifício de alojamentos (toda a água é encaminhada para o sistema de tratamento), como também o valor pago em água nas cavalariças (paras as duas atividades consideradas). É importante ainda referir que, de modo a que seja possível reduzir os custos relativos ao saneamento do edifício, é necessária a colocação de um contador de água no mesmo. Assim, passará a haver uma fatura só para o edifício onde apenas será contabilizada a faturação do consumo de água, não incluindo a faturação do saneamento.

De seguida são apresentados na Tabela 8.9 os montantes gastos por ano (em água e saneamento) para o sistema atual e os mesmos após a implementação da solução em estudo.

Tabela 8.9 – Comparação dos custos atuais e dos custos após a implantação da solução em estudo.

	Valor a pagar em água (€/ano)	Valor a pagar em saneamento (€/ano)	Valor a pagar por manutenção do sistema (€/ano)	Total a pagar (€/ano)
Sistema atual	54 273	58 615	-	112 887
Após implantação da solução em estudo	48 975	5 721	1 323	56 019

No gráfico seguinte é apresentado o tempo de retorno do investimento realizado para a implementação da solução de tratamento.

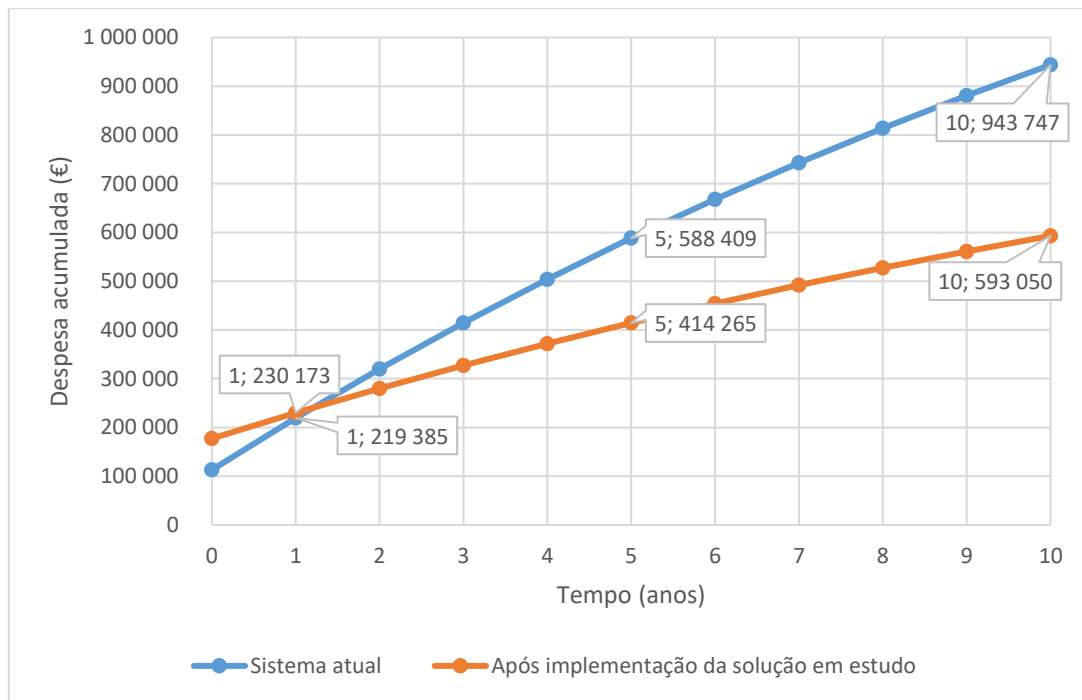


Figura 8.1 – Tempo de retorno do investimento.

Neste gráfico foi considerado que a solução é implementada durante o primeiro mês do ano 2017, pelo que o AAMA terá que pagar o custo de execução da solução como também pagar todos os custos de consumo de água e de saneamento inerentes a esse mês. É considerado que o preço a pagar por cada m³ de água e saneamento se mantêm constantes ao longo dos anos. É ainda importante referir que os custos em água e saneamento foram atualizados com uma taxa de atualização de 6% para o ano de implementação da solução. Após o primeiro mês de 2017, a solução está operacional e é retirado todo o rendimento que esta proporciona. Sensivelmente ao final de 2 anos e 2 meses após implementação da solução, consegue-se recuperar todo o dinheiro investido. A partir deste período o AAMA começa a beneficiar economicamente da solução adotada. Numa estimativa a 5 e 10 anos, o AAMA tem um benefício económico a rondar os 174 000€ e os 351 000 €, respetivamente. Assim, é possível concluir que a solução adotada é economicamente viável, visto que o dinheiro investido é recuperado num curto prazo de tempo e a longo prazo é possível poupar uma quantia significativa no gasto em saneamento e em água. Contudo, os valores obtidos são sempre uma aproximação da realidade, pois o preço da água e do saneamento vão variando ao longos dos anos. Porém, os resultados obtidos permitem ter uma ordem de grandeza dos resultados reais no futuro.

É importante referir que nesta solução apenas se está a reutilizar a água tratada nas cavalariças, havendo outros locais onde é possível a sua reutilização, nomeadamente:

- Rega de espaços verdes;
- Lavagem de equipamentos e viaturas;
- Lavagem de arruamentos;
- Descarga de autoclismos e urinóis;
- Abastecimento dos pontos de consumo de lavagem de botas;

O estudo apenas se vocacionou para a reutilização de água nas cavalariações, pelo simples facto de ser possível estimar de forma realista o consumo de água nas atividades descritas. A lavagem de equipamentos, viaturas e arruamentos são atividades muito irregulares no tempo no AAMA, pelo que se torna muito difícil estimar de forma realista o consumo de água. Contudo, em unidades militares onde existem treinos operacionais com regularidade, onde o uso de viaturas e de equipamentos é vasto, será fácil estimar estes consumos. A reutilização na descarga de autoclismos e urinóis, bem como no abastecimento dos pontos de consumo de lavagem de botas, também não foi considerado. Para considerar esta reutilização seria necessário fazer o dimensionamento da rede de abastecimento para estes pontos de consumo e estimar os respetivos custos relativos à sua execução. Por fim, ao considerar apenas a reutilização da água tratada nas cavalariações, consegue-se chegar à conclusão que a solução adotada é economicamente viável e, caso fosse utilizada em mais atividades, o tempo de retorno seria menor, bem como o benefício económico a longo prazo seria muito mais elevado.

9 Considerações finais

A presente dissertação aborda essencialmente a temática do tratamento de águas residuais e suas possibilidades de reutilização, bem como o benefício a nível económico e mais importante ainda a nível ambiental.

A água é um recurso essencial não só para a sobrevivência humana, mas também para a sustentabilidade do planeta. A reutilização da água é hoje um pilar importante no que visa à perseveração deste recurso natural. Esta acarreta diversos benefícios, entre os quais a diminuição da poluição e conseqüentemente da degradação ambiental, visto que permite a conservação das águas doces e reduz a quantidade de descargas de águas residuais não tratadas para os meios recetores.

Na reutilização de águas residuais, os sistemas de drenagem apresentam um papel importante. Estes têm uma influência direta no que diz respeito ao tratamento das águas, visto que quanto mais separativo for o sistema, maior será a facilidade de tratamento, menor será o seu custo associado, maior a potencialidade de reutilização e menor serão os riscos ambientais e de saúde pública.

Atualmente Portugal apresenta um plano estratégico que visa melhorar todos os seus sistemas de abastecimento e de saneamento de águas residuais. Neste plano são estabelecidas metas a atingir, em que se pretende aumentar o nível de atendimento dos sistemas, e também que haja um maior controlo de qualidade da água e que se promova a sustentabilidade dos sistemas através do aumento de utilização de águas residuais tratadas.

As águas residuais são caracterizadas por possuírem na sua constituição elevada quantidade de microrganismos patogénicos e de substâncias orgânicas e inorgânicas dissolvidas e suspensas. De modo a que a reutilização destas águas seja efetuada de forma segura é necessário que estas passem por processos de tratamento de tal modo eficazes, que permitam a remoção quase total desses constituintes. Só assim se torna viável a reutilização da água tratada, em que os riscos para o ambiente e para a saúde pública são praticamente inexistentes.

Nos dias de hoje, devido ao significativo avanço tecnológico, existem diversos processos de tratamento para as águas residuais. A escolha dos processos de tratamento depende sempre do tipo de reutilização que se pretende das águas residuais tratadas, associado sempre ao cumprimento de requisitos de qualidade. A qualidade das águas residuais é tanto melhor quanto maior for o nível de tratamento, em que o tratamento preliminar é o de menor nível e o tratamento terciário/avançado o de maior. Conclui-se também, que quanto maior for a qualidade pretendida das águas, maior o custo de tratamento. Com isto, na escolha do tratamento a adotar deverá haver uma conciliação racionalizada entre o custo de tratamento com os riscos associados à reutilização.

Hoje, os grandes centros urbanos já dispõem de sistemas centralizados para o tratamento das águas residuais. Estes sistemas são sobretudo viáveis nos grandes centros urbanos, visto que o custo de investimento é muito elevado e para grandes aglomerados há economia de escala. Em meios rurais, pequenos aglomerados populacionais, existe uma carência significativa de sistemas de tratamento. Neste contexto, a adoção de soluções descentralizadas, incluindo as soluções de leitos de macrófitas,

são normalmente soluções técnico-economicamente rentáveis, levando a que haja uma maior cobertura ao nível de tratamento nestas localidades.

As várias possibilidades de tratamento permitem que os efluentes tratados possam ser usados em diversas atividades, desde a reutilização para rega agrícola até à reutilização de usos urbanos não potáveis. No que diz respeito à reutilização em instalações militares, as atividades de maior interesse são a lavagem de viaturas, equipamentos, vias/arruamentos, rega de espaços verdes e possivelmente a descarga de autoclismos e urinóis e em certas atividades realizadas nas cavalariças, dado que o consumo de água nestas atividades é muito elevado.

O custo estimado para a implementação da solução em estudo foi de cerca de 121 000€, pelo que ao final de sensivelmente dois anos consegue-se o retorno do investimento realizado e a partir deste tempo começa-se a beneficiar economicamente da solução. Numa estimativa a 10 anos consegue-se um benefício à volta de 351 000€. Posto isto, conclui-se que a solução adotada é economicamente viável. Porém, o estudo apenas consistiu num dimensionamento sumário da solução de tratamento de modo a que fosse possível estimar os seus custos, e por esta razão este estudo é muito preliminar, pelo que não foram consideradas algumas variantes nos custos, como é o caso dos custos associados à exploração da solução de tratamento.

Desta forma, existem alguns desenvolvimentos futuros que poderão vir a ser trabalhados, essencialmente:

- Dimensionamento pormenorizado da rede de drenagem, do sistema de tratamento e da rede de abastecimento para este caso de estudo;
- Análise e dimensionamento de redes de abastecimento de água reutilizada, para outras possibilidades de reutilização da água tratada;
- Realização de um levantamento de diversas instalações militares onde à prior é possível implementar soluções de tratamento similares.

Referências Bibliográficas

- Agência Portuguesa do Ambiente. (2014a). *PENSAAR 2020: Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais* (Vol. 1).
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2014b). *PENSAAR 2020: Uma nova Estratégia para o Setor de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais* (Vol. 2).
- Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., e Tchobanoglous, G. (2007). *Water Reuse: issues, technologies, and applications* (1st ed. p.). Metcalf e Eddy, Inc.
- Baptista, J. M., Almeida, M. do C., Vieira, P., Silva, A. C. M. e, Ribeiro, R., Fernando, R. M., ... Cameira, M. do R. (2001). Programa nacional para o uso eficiente da água.
- Bartolomeu, F. A. (1996). *Tecnologias de Drenagem e Tratamento de Águas Residuais Apropriadas a Aglomerados até 5000 Habitantes* (Tese de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa.
- Bonaiti, G., Davy, T., Estrela, T., e Vargas, E. (2009). *5th World Water Forum: Istanbul 2009. European Regional Document*. Istanbul. Retrieved from <http://www.ewp.eu/wp-content/uploads/2009/03/European-Regional-Document-final.pdf>
- Brito, A. G. de, e Matos, J. S. (2013). *Sistemas Descentralizados - águas residuais e reutilização. Indústria E Ambiente*.
- Cantante, H. D. (2016). *Utilização eficiente da água em instalações militares. O edifício de alojamento dos alunos da Academia Militar na Amadora* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Decreto Lei nº 236/98 de 1 de Agosto do Ministério do Ambiente. Diário da República: I série, Nº 139. Retrieved from <http://www.azores.gov.pt>
- Decreto Lei nº 152/97 de 19 de Junho de 1997 do Ministério do Ambiente. Diário da República: I série, Nº 139. Retrieved from <http://www.dqa.quercus.pt>
- Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura e Georecursos. (2016). *Estudo prévio de um sistema adutor de abastecimento de Água*.
- Departamento Internacional da Água. (2001). *Processos Extensivos de Tratamento das Águas Residuais*. Luxemburgo.

- Ecoted. (2016). Depósito Horizontal para Enterrar 60.000L. Retrieved from <http://ecoted.pt/depositos-horizontais-para-enterrar/85-deposito-horizantal-para-enterrar-2000l.html>
- Galvão, A. F. (2009). *Comportamento Hidráulico e Ambiental de Zonas Húmidas Construídas Para o Tratamento de Águas Residuais* (Tese de Doutoramento). Instituto Superior Técnico.
- Gerador de Preços. Espaços Urbanos. Portugal. (2016). Retrieved from http://www.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/calculaprecio.asp?Valor=4|0_0_0_0_0_0_0|1|IUS011|uac_colec_pvc:c6_0_1c3_0_1_0_2_0_1_1c3_0|ade_010_sys:_0
- Instituto Nacional de Estatística. (2016). Atualização de Valores com Base no IPC. Retrieved from <https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ipc>
- Kadlec, R. H., e Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands* (Second Edi). CRC Press.
- MAOTDR. (2007). *PEAASAR II - Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007–2013. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional* (1.ª edição). <http://doi.org/978-989-8097-00-2>
- Matos, J. M. de S. G., e Ferreira, F. M. S. (2012). *Estações de Tratamento de Águas Residuais para Pequenos Aglomerados. Orientações de Conceção e Dimensionamento*. Instituto Superior Técnico: Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georecursos.
- Matos, J. M. de S. G., e Ferreira, F. M. S. (2014). *Documento de trabalho de apoio à unidade curricular de saneamento do mestrado integrado em engenharia civil e do mestrado integrado em engenharia do ambiente: componente de águas residuais*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Monte, H. M. do, e Albuquerque, A. (2010). *Reutilização de águas residuais*.
- National Research Council (US). (2012). *Water Reuse - Potencial for Expanding the Nation's Supply Through Reuse of Municipal Wastewater*. (Committe on the Assessment of Water Reuse as an Approach for Meeting Future Water Supply Needs, Ed.). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Natural Resources Management and Environmental Department. (n.d.). Wastewater treatment. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm#TopOfPage>
- Oliveira, J. M. da S. C. (2007). *Diagnóstico e Optimização do Tratamento de Águas Residuais em Leitões de Macrófitas* (Tese de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pedroso, V. M. R. (2014). *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas* (5.^a edição). Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

SWINGS Project. (2016). *Report on solar disinfection method operation*. India.

Tchobanoglous, G., Burton, F., e Stensel, H. D. (1991). *Wastewater engineering: Treatment and Reuse*. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (4th Editio). Metcalf e Eddy, Inc. Retrieved from http://www.mumbaidp24seven.in/reference/Ch_1WastewaterEngineering4thed_byMetcalfandEddy.pdf

Wallace, S., e Knight, R. (2006). *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility, Design Criteria and O&M Requirements*. London, United kingdom: Water Environmental Research Foundation e IWA Publishing.

Anexos

Anexo A – Documentação de apoio à dissertação

Tabela A.1 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuais e suas origens.

CARACTERÍSTICAS		ORIGEM
Físicas	Cor	Resíduos domésticos e industriais, decomposição de matéria orgânica.
	Cheiro	Decomposição das substâncias dissolvidas e em suspensão.
	Temperatura	Águas residuais domésticas e industriais.
	Sólidos	Água de abastecimento, águas residuais domésticas e industriais, erosão do solo, infiltração nos coletores.
Químicas Orgânicas	Carbo-hidratos	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Proteínas	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Óleos e gorduras	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Detergentes	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Pesticidas	Resíduos agrícolas.
	Fenóis	Águas residuais industriais.
	Compostos voláteis	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Poluentes prioritários ⁶	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Inorgânicas	Alcalinidade	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
	Cloretos	Águas residuais domésticas, água potável, água subterrânea infiltrada.
	Metais pesados	Águas residuais industriais.
	Azoto	Águas residuais domésticas e escorrências agropecuárias.
	Fósforo	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais; escorrências naturais.
	pH	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Enxofre	Água de abastecimento, águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
	Poluentes prioritários	Águas residuais domésticas, comerciais e industriais.
Gases	Ácido sulfídrico	Decomposição de águas residuais domésticas.
	Metano	Decomposição de águas residuais domésticas.
	Oxigênio	Água do abastecimento público, infiltração de águas superficiais.
Biológicas	Animais	Cursos de água e ETAR.
	Plantas	Cursos de água e ETAR.
	Bactérias	Águas residuais domésticas, infiltração de águas superficiais, industriais alimentares, ETAR.
	Vírus	Águas residuais domésticas, indústrias agroalimentares.

Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque (2010)

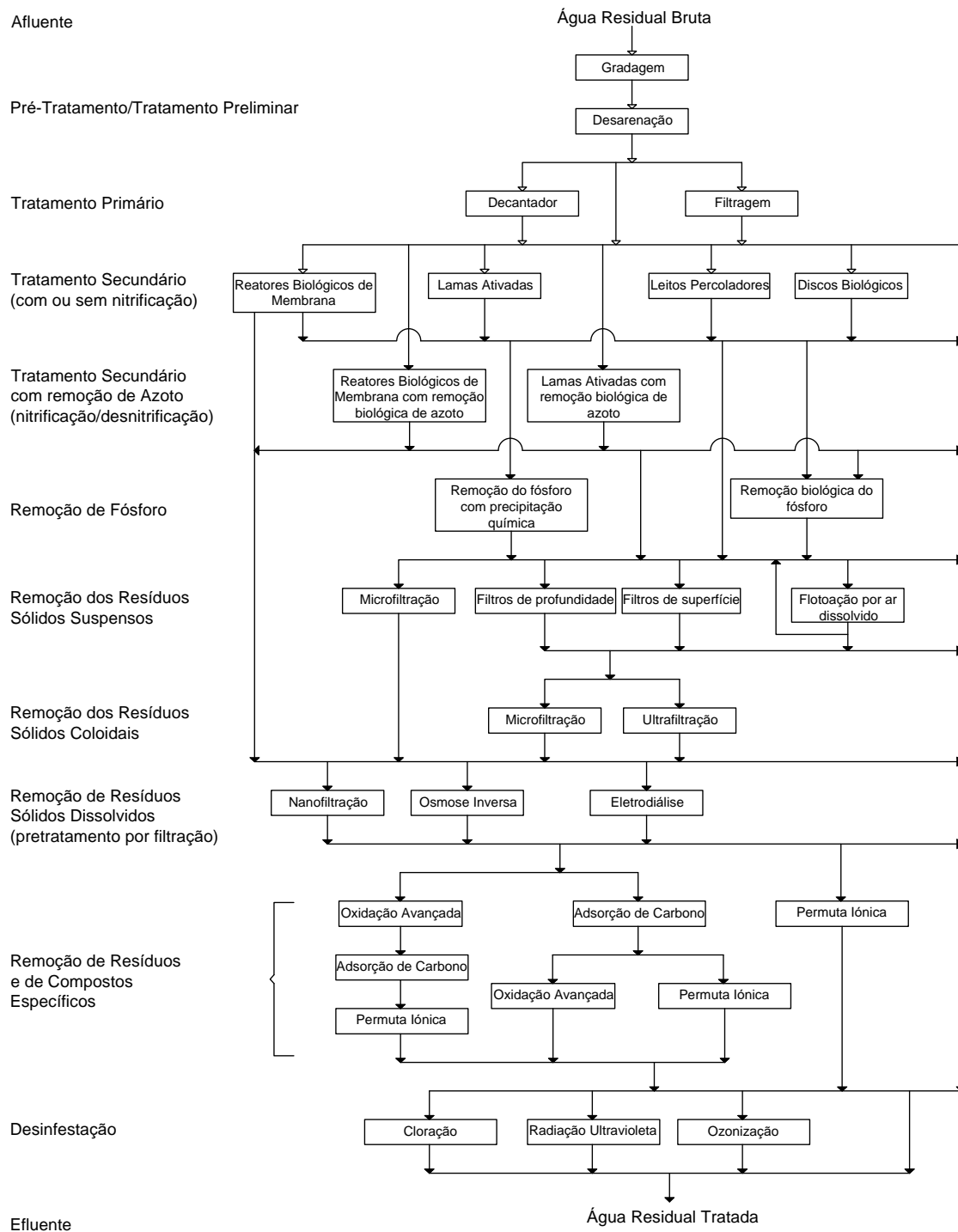
⁶ Poluentes prioritários: Compostos orgânicos e inorgânicos que se sabe ou se suspeita serem carcinogênicos, mutagênicos, teratogênicos ou de toxicidade aguda.

Tabela A.2 - Eficiência de remoção de poluentes químicos consoante o tipo de tratamento.

	Remoção do tratamento (%)				
	Primário	Secundário	Terciário	Avançado	Global
CBO	19	74	5	NA	98
SST	40	55	4	NA	99+
COT	21	64	8	7	99+
ST	9	10	6	72	97
Turvação	12	74	14	0	99+
N-NH ₄	5	52	1	39	96
N-NO ₃	0	0	0	0	0
P-PO ₄	16	28	54	0	98
Arsénio	3	19	30	30	92
Boro	0	0	13	3	17
Cádmio	17	0	67	0	83
Cálcio	3	7	0	88	99
Cloretos	3	0	0	90	94
Crómio	0	32	24	26	83
Cobre	0	33	52	0	83
Ferro	11	59	22	2	94
Chumbo	0	0	93	0	91
Magnésio	1	0	82	13	96
Manganês	4	37	57	0	97
Mercurio	33	33	0	0	67
Níquel	0	33	11	45	89
Selénio	0	16	0	64	80
Prata	0	75	0	0	75
Sódio	3	0	0	91	94
Sulfatos	9	0	0	91	99+
Zinco	6	64	27	0	97

NA – não aplicável.

Fonte: Monte e Albuquerque (2010)



Fonte: adaptado de Asano et al. (2007)

Figura A.1 - Matriz de processos de tratamento alternativos que têm sido aplicados nas águas residuais.

Tabela A.3 - Exemplos no mundo de reutilização da ART em rega agrícola.

Exemplos de caso	Aplicação
Monterey, Califórnia	1.500 m ³ /d aplicados na rega de hortícolas, num projeto de Investigação e Desenvolvimento de 10 anos.
Cidade do México	45 a 300 m ³ /s de águas residuais são reutilizados na rega de 35.000 ha de culturas agrícolas.
Clermont-Ferrand, França	500.000 m ³ /d de efluente secundário afinado em lagoas de maturação e por desinfecção são reutilizados na rega de 750 ha de milho.
Emilia Romagna, Itália	1.250 m ³ /d de efluente do tratamento das águas residuais de Castiglione, Cesena, Casenatico, Cervia e Gatteo são reutilizadas na rega de 400 ha de área agrícola.
Vitoria, País Basco, Espanha	35.000 m ³ /d de águas residuais de águas residuais tratadas são reutilizadas para rega agrícola.
Drarga, Marrocos	As águas residuais de uma população de 10.000 habitantes são tratadas em lagoas de estabilização e reutilizadas para rega agrícola.
Região Dan e Projeto Kishon, Israel	O volume de águas residuais reutilizadas representa 20% da água utilizada na rega agrícola.
Kuwait	10% das águas residuais tratadas (tratamento terciário) são reutilizadas na rega agrícola e paisagística. 25% da área agrícola é regada com água reutilizada.
Taiyuan, China	500.000 m ³ /d do efluente secundário proveniente de 7 ETAR são reutilizados após recarga de aquífero nas lagoas do Rio Fen.
Virginia, Austrália	120.000 m ³ /d de efluente armazenado no solo distribuídos a 250 agricultores para a rega agrícola.
Mendoza, Argentina	Mais de 160.000 m ³ /d de águas residuais urbanas provenientes de 1 milhão de habitantes é reutilizada para rega de vinhas, olivais, árvores de fruta, entre outras culturas, dispostos em mais de 3640 ha.

Fonte: adaptado de Asano et al. (2007) e Monte e Albuquerque (2010)

Tabela A.4 - Exemplos no mundo de reutilização da ART em rega paisagística.

St. Petersburg, Florida	Cerca de 40 milhões de m ³ /ano reutilizados na rega de espaços verdes residenciais e comerciais e de campos de golfe. O projeto inclui também reutilização para combate a incêndios em zonas não residenciais.
El Paso, Texas	Rega de campos de golfe, parques municipais e recintos escolares com efluentes secundários e terciários.
El Dorado Hills, Califórnia	58.000 m ³ /d aplicados na rega de jardins residenciais e 2 campos de golfe.
Chipre	60% do volume de águas residuais produzidas nas cidades de maior dimensão são reutilizadas na rega de jardins, parques, recintos de hotéis, campos de golfe.
Irvine Ranch Water District, Califórnia	41 milhões de m ³ /ano reutilizados para rega de parques, campos de golfe e outros campos desportivos, recintos escolares.
Denver, Colorado	41 milhões de m ³ /ano para rega de parques, campos de golfe, recintos escolares.
Consorti de la Costa Brava, Catalunha, Espanha	5,7 milhões de m ³ /ano (15% das águas residuais produzidas) reutilizados em 13 projetos, na rega de campos de golfe, rega de espaços verdes urbanos, rega agrícola, recarga de aquíferos.
Sainte-Maxime, França	10.000 m ³ /d de efluente terciário reutilizado na rega de campo de golfe.

Fonte: adaptado de Monte e Albuquerque (2010).

Tabela A. 5 – Tolerância das plantas à salinidade.

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente		Tolerante	Muito tolerante
				sensível	tolerante		
Pinheiro do alepo	<i>Pinus halepensis</i>				✓		
Aradeira	<i>Hedera canariensis</i>		✓				
	<i>Cordyline indivisa</i>				✓		
Buganvília	<i>Bougainvillea spectabilis</i>					✓	
Mirtilo vermelho	<i>Syzygium paniculatum</i>					✓	
Abrunheiro dos jardins	<i>Prunus cerasifera</i>			✓			
Rosa da china	<i>Hibiscus Rosa-sinensis</i>		✓				
Vassoura-vermelha	<i>Dodonaea viscosa</i>			✓			
Palmeira das vassouras	<i>Chamaerops humilis</i>				✓		
Abélia	<i>Aelia x grandiflora</i>		✓				
Alfeneiro do Japão	<i>Ligustrum lucidum</i>			✓			
Avenca japonesa	<i>Nandina domestica</i>		✓				
Pinheiro-manso	<i>Pinus pinea</i>					✓	
Pinheiro preto japonês	<i>Pinus thunbergiana</i>			✓			
Buxo	<i>Buxus microphylla var. japonica</i>			✓			
Faia da Holanda	<i>Pittosporum tobira</i>		✓				
Folhado dos Açores	<i>Viburnum Tinus</i>		✓				
Karanda	<i>Carissa grandiflora</i>					✓	
Bauínia-de-hong-kong	<i>Bauhinia purpurea</i>			✓			
Loendro	<i>Nerium oleander</i>				✓		
Maónia	<i>Mathonia aquifolium</i>	✓					

Fonte: Monte e Albuquerque (2010)

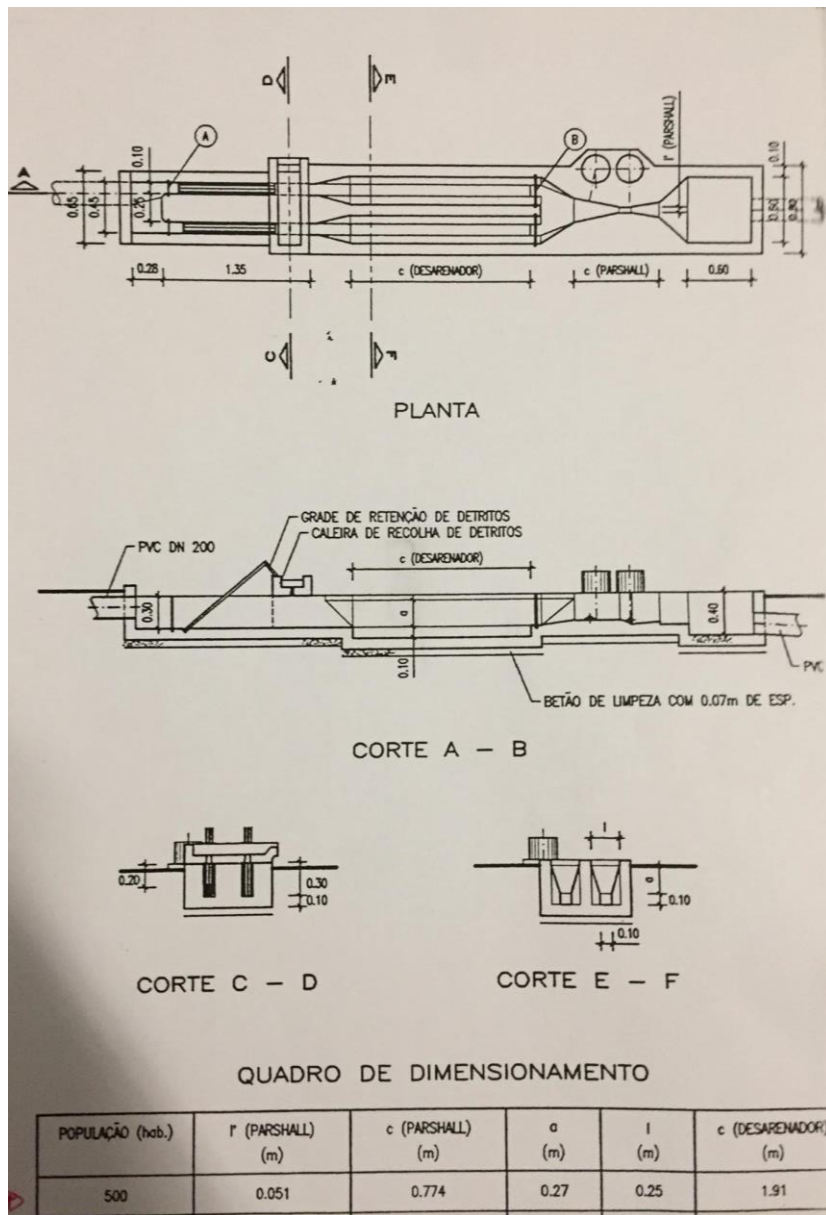
Tabela A. 5 – Tolerância das plantas à salinidade (continuação).

Nome comum	Nome botânico	Tolerância à salinidade					
		Muito sensível	Sensível	Medianamente		Tolerante	Muito tolerante
				sensível	tolerante		
Biota da China	<i>Platycladus orientalis</i>			✓			
Photínia	<i>Photinia x fraseri</i>	✓					
Goiaba-serrana	<i>Feijoa Sellowiana</i>		✓				
Cacto-margarida	<i>Lamprathus productus</i>						✓
Espinho de Fogo	<i>Pyracantha fortuneana</i>			✓			
Roseira	<i>Rosa sp.</i>		✓				
Alecrim	<i>Rosarinus officinalis</i>				✓		
Magnólia	<i>Magnolia grandiflora</i>			✓			
Evónio dos jardins	<i>Euonymus japónica</i>				✓		
Jasmim estrelado	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	✓					
Medronheiro	<i>Arbutus Unedo</i>		✓				
Liquidambar da América	<i>Liquidambar Styraciflua</i>				✓		
Oleagno	<i>Elaeagnus pungens</i>			✓			
Tulipeiro	<i>Liriodendron Tulipifera</i>		✓				
Calistemon	<i>Callistemon viminalis</i>				✓		
Cambará	<i>Lantana camara</i>			✓			

Fonte: Monte e Albuquerque (2010)

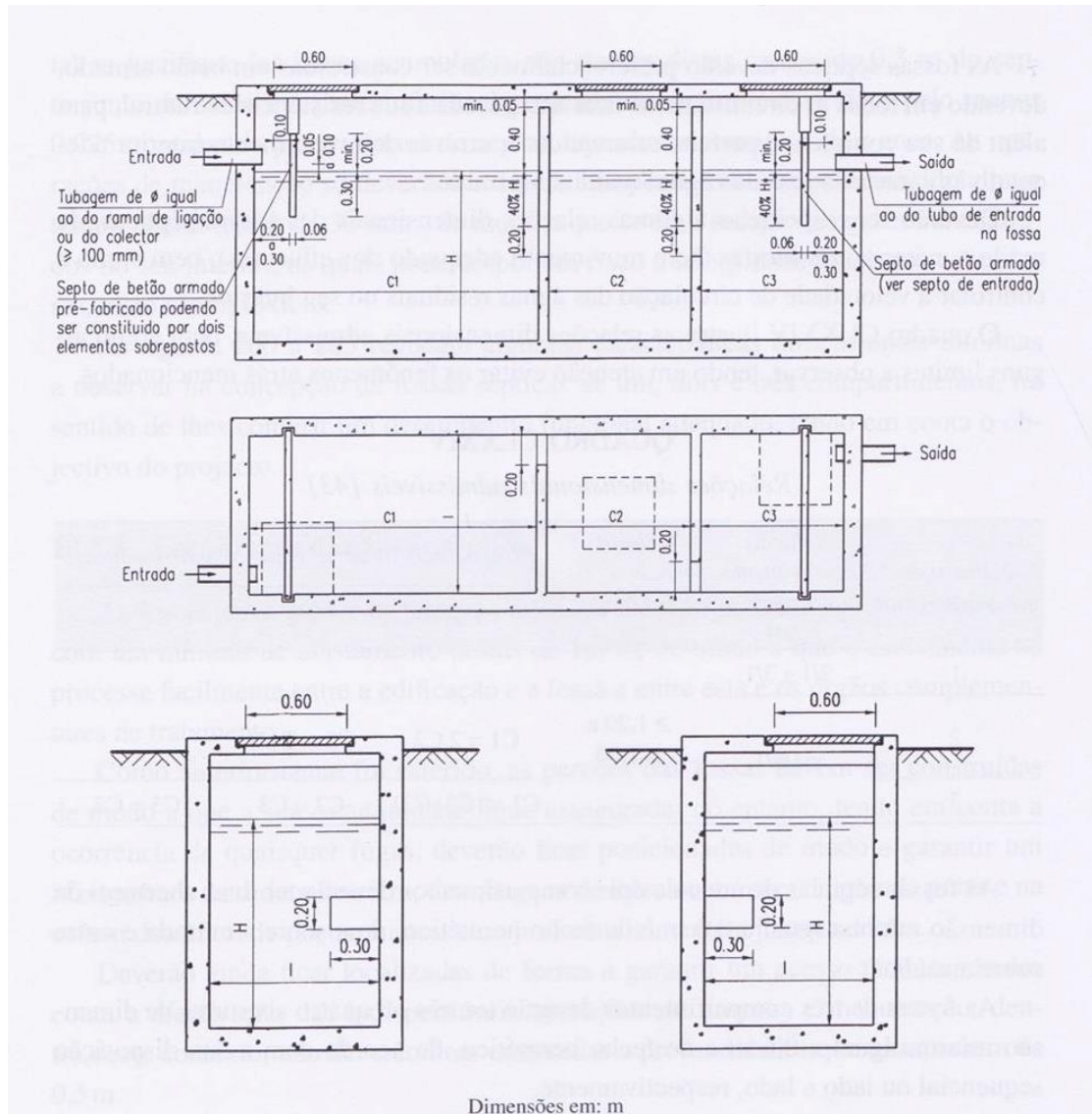
Anexo B – Obra de entrada e Fossa séptica de três compartimentos

Obra de entrada



Fonte: Bartolomeu (1996)

Fossa Séptica

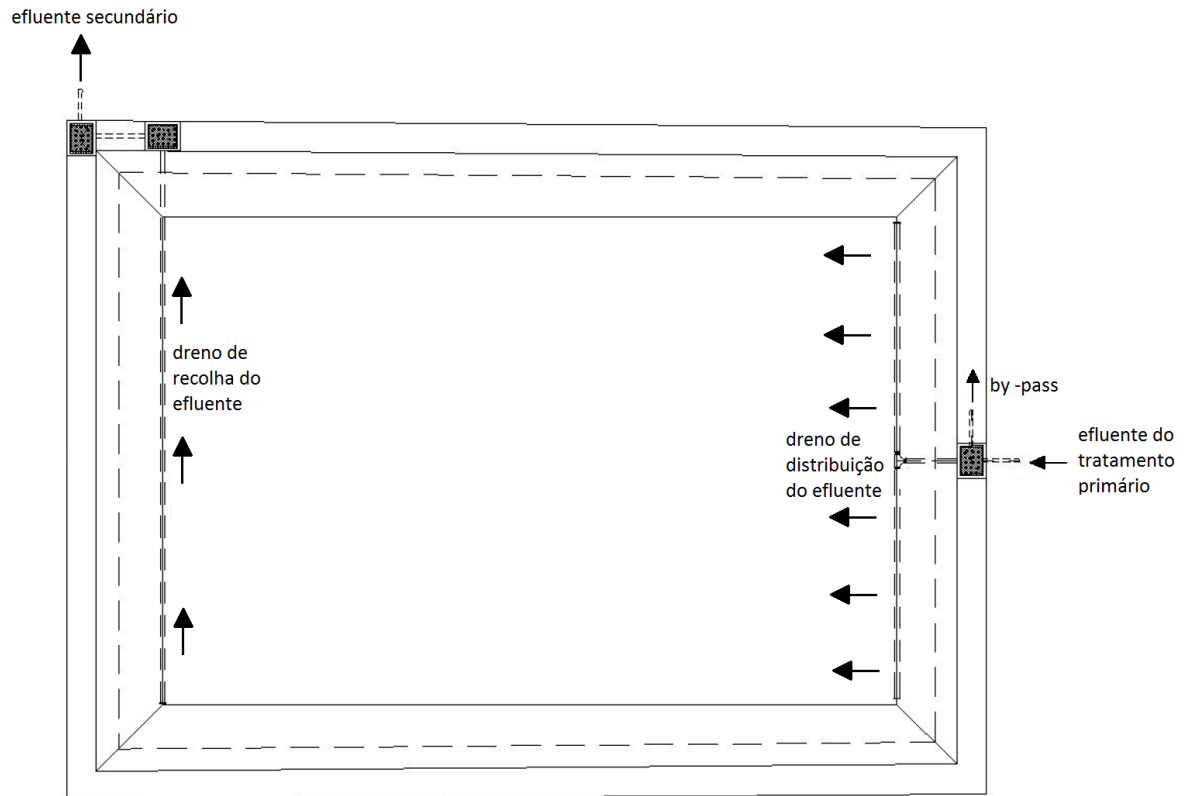


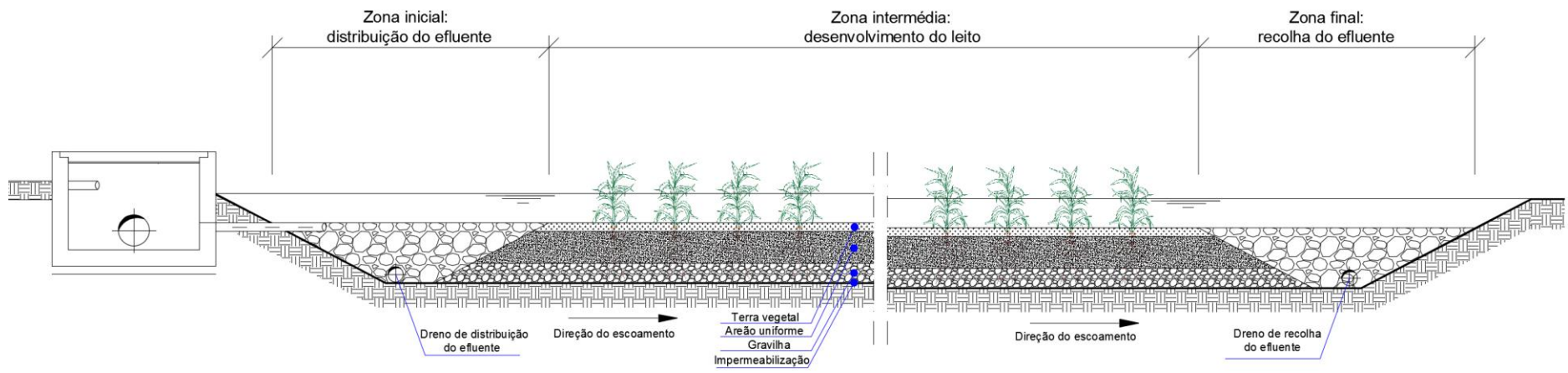
Fonte: Pedroso (2014)

Observa-se que devem ser respeitadas os seguintes requisitos na construção de uma fossa séptica de três compartimentos:

- A ligação entre compartimentos por aberturas retangulares executadas nas paredes divisórias, devem-se prolongar 0,40 m acima da superfície livre do líquido;
- Deixar um espaço de, pelo menos, 0,05 m entre os topos e o teto por forma a permitir ventilação;
- A superfície livre deve estar 0,05 a 0,10 m abaixo da cota de soleira do coletor afluente;
- Deve dispor de uma abertura em cada compartimento para efeito de controlo, entrada para reparação e descarga de lamas;
- Deve dispor de septos à entrada e à saída, parcialmente imersos e emergindo 0,20 m acima da superfície livre do líquido.

Anexo C – Leito de macrófitas de escoamento sub-superficial horizontal





Anexo D – Desinfecção: *SolarUV disinfection system* (catálogo)

SolarUV Disinfection System



SolarUV - Disinfection Systems (UltraViolet) provide drinking water to remote and rural areas. Completely solar-powered SolarSpring systems use chemical free UV-Disinfection technology to produce drinking water from sources like ground or surface water. Automatic operation, low maintenance need and high security standards are the features of our SolarUV-Disinfection Systems.



System Benefits

Feature	Benefits
100% solar powered	<ul style="list-style-type: none"> · Installation in remote off-grid locations · Low operation costs
Chemical free operation	<ul style="list-style-type: none"> · Reliable water quality · No change in taste, odor, pH or conductivity nor the general chemistry of the water · Suitable for many feed water sources
Flexible, stand-alone and reliable	<ul style="list-style-type: none"> · Modular system design · Combinable with other technologies and treatment, water storage and supply concepts · Automatic, PLC-controlled operation · Simplicity and ease of maintenance

Applications

SolarUV-Disinfection Systems are perfectly suited for applications where water with low or no turbidity is available but maybe contaminated. SolarUV-Disinfection Systems can be used as a standalone solution for direct drinking water production or modular for example as an additional post treatment and water-storage solution for ultrafiltration (UF) and reverse osmosis (RO) units. Typical drinking water applications are: individual water home systems, hotel and tourist resort applications, rainwater harvesting, remote settlements or villages.

SolarUV 10.0 specifications

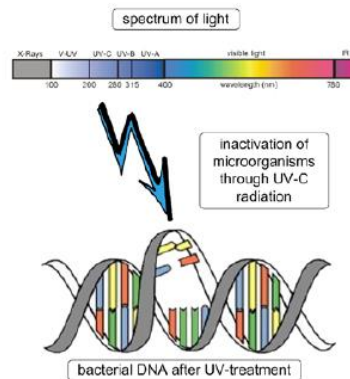
Water treatment technology	UV-Disinfection Technology
Nominal production capacity	10 m ³ /day
Solar energy source	150 W _p solar PV
Battery system	24 V, 50 Ah
UV reactor (inline)	22 W, 400 J/m ³
Integrated pre-treatment	Cartridge filter or automatic backflush filter (according to water quality)
Control system	PLC for process automation
Optional borehole pump	Solar driven, up to 100 m depth
Optional integrated or external storage tank for product water for higher grades of autonomy	500 liter integrated storage tank with submerged UV disinfection lamp (9 W) and periodical automatic water circulation through UV reactor.
Optional security feature	Water disinfection control via UV intensity guard and automatic adaption of volume flow
Housing	Weather resistant housing
Dimensions	1.25 x 0.3 x 1.10 m
Weight	80 kg



About SolarSpring

SolarSpring, a Fraunhofer spin-off company, is a developer of clean water systems using clean energy sources. We use solar thermal, photovoltaic (PV) or waste heat energy to power water treatment technologies such as membrane distillation and ultrafiltration. Our expertise is in the design and integration of water treatment systems that operate on low or intermittent energy sources.

SolarSpring is a pioneer in membrane distillation systems driven by solar energy. The first field system was deployed in the Canary Islands in 2004 and is still in operation today. Systems have now been installed in countries from Mexico to the Middle East, Africa and Australia.



UV Disinfection technology

Ultraviolet Disinfection (UV) is a physical and 100 % chemical free disinfection technology that does not produce any disinfection by-products. UV-lamps or -reactors mainly emit UV-C radiation with wave-lengths between 240 to 280 nm. This radiation initiates a photochemical reaction that destroys the reproductive capability of microorganisms like bacteria and viruses. UV-disinfection is more effective against viruses than chlorine. Even parasites which are extremely resistant to chemical disinfectants are efficiently reduced. An UV-intensity of 400 J/m² is needed for an efficient deactivation (> 99,99 %) of pathogenic microorganisms.

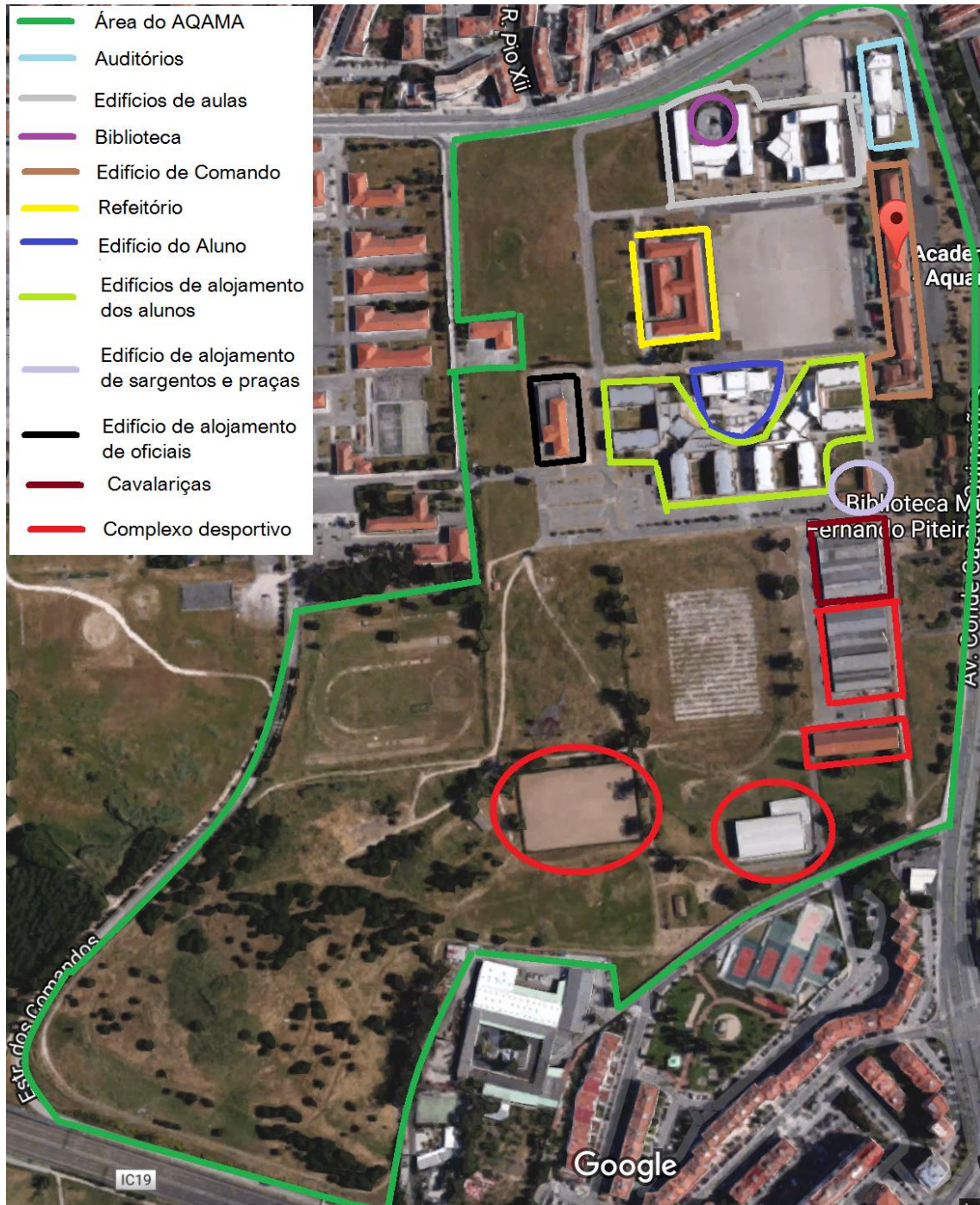


SolarSpring GmbH
 Hanferstr. 28
 79108 Freiburg
 Germany

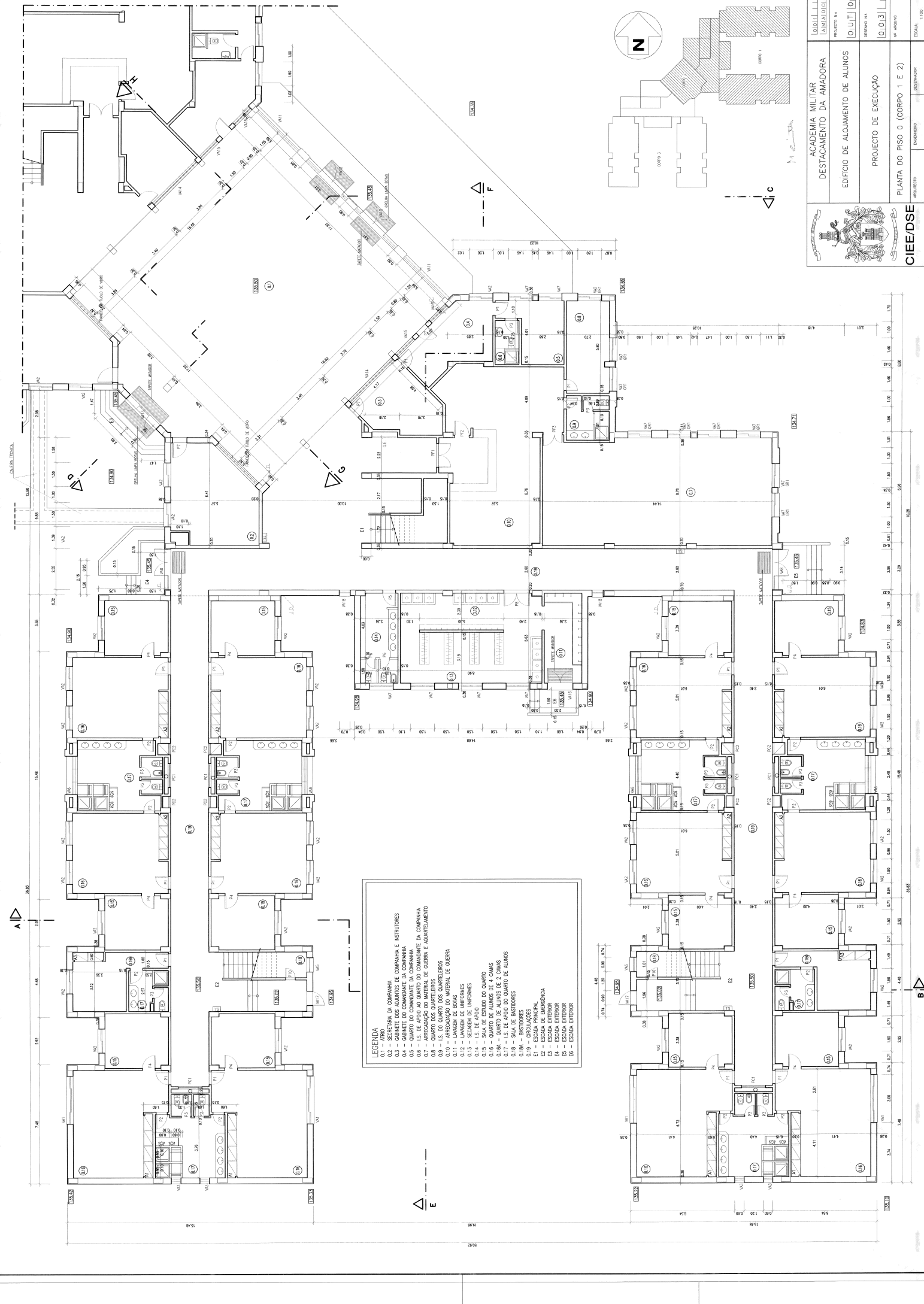
Tel.: +49(0) 761-610-508-3
 Fax: +49(0) 761-610-508-50
 E-mail: info@solarspring.de

www.solarspring.de

Anexo E – Infraestruturas do AAMA

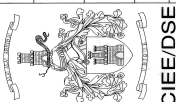


**Anexo F - Plantas arquitetônicas e de esgotos do edifício de alojamento dos
alunos**



LEGENDA

- 01 - ATRO
- 02 - SECRETARIA DA COMPANHIA
- 03 - SALA DE REUNIOES
- 04 - CABINETE DO COMANDANTE DA COMPANHIA
- 05 - QUARTO DO COMANDANTE DA COMPANHIA
- 06 - I.S. DE APOIO AO QUARTO DO COMANDANTE DA COMPANHIA
- 07 - ARREQUADAMENTO DO MATERIAL DE GUERRA E AJUSTAMENTO
- 08 - I.S. DO QUARTO DOS QUARTELEIROS
- 09 - I.S. DO QUARTO DOS QUARTELEIROS
- 10 - ARREQUADAMENTO DO MATERIAL DE GUERRA
- 11 - LAVANDAS DE BOTAS
- 12 - LAVANDAS
- 13 - SECRETARIA DE EMPREGADOS
- 14 - I.S. DE APOIO
- 15 - I.S. DE APOIO
- 16 - SALA DE ESTUDO DO QUARTO
- 17 - SALA DE ESTUDO DO QUARTO
- 18 - SALA DE ESTUDO DO QUARTO
- 19 - QUARTO DE ALUNOS DE 2 CAMAS
- 20 - QUARTO DE ALUNOS DE 2 CAMAS
- 21 - I.S. DE APOIO DO QUARTO DE ALUNOS
- 22 - SALA DE BANHEIROS
- 23 - BANHEIROS
- 24 - BANHEIROS
- 25 - BANHEIROS
- 26 - BANHEIROS
- 27 - BANHEIROS
- 28 - BANHEIROS
- 29 - BANHEIROS
- 30 - BANHEIROS
- 31 - BANHEIROS
- 32 - BANHEIROS
- 33 - BANHEIROS
- 34 - BANHEIROS
- 35 - BANHEIROS
- 36 - BANHEIROS
- 37 - BANHEIROS
- 38 - BANHEIROS
- 39 - BANHEIROS
- 40 - BANHEIROS
- 41 - BANHEIROS
- 42 - BANHEIROS
- 43 - BANHEIROS
- 44 - BANHEIROS
- 45 - BANHEIROS
- 46 - BANHEIROS
- 47 - BANHEIROS
- 48 - BANHEIROS
- 49 - BANHEIROS
- 50 - BANHEIROS
- 51 - BANHEIROS
- 52 - BANHEIROS
- 53 - BANHEIROS
- 54 - BANHEIROS
- 55 - BANHEIROS
- 56 - BANHEIROS
- 57 - BANHEIROS
- 58 - BANHEIROS
- 59 - BANHEIROS
- 60 - BANHEIROS
- 61 - BANHEIROS
- 62 - BANHEIROS
- 63 - BANHEIROS
- 64 - BANHEIROS
- 65 - BANHEIROS
- 66 - BANHEIROS
- 67 - BANHEIROS
- 68 - BANHEIROS
- 69 - BANHEIROS
- 70 - BANHEIROS
- 71 - BANHEIROS
- 72 - BANHEIROS
- 73 - BANHEIROS
- 74 - BANHEIROS
- 75 - BANHEIROS
- 76 - BANHEIROS
- 77 - BANHEIROS
- 78 - BANHEIROS
- 79 - BANHEIROS
- 80 - BANHEIROS
- 81 - BANHEIROS
- 82 - BANHEIROS
- 83 - BANHEIROS
- 84 - BANHEIROS
- 85 - BANHEIROS
- 86 - BANHEIROS
- 87 - BANHEIROS
- 88 - BANHEIROS
- 89 - BANHEIROS
- 90 - BANHEIROS
- 91 - BANHEIROS
- 92 - BANHEIROS
- 93 - BANHEIROS
- 94 - BANHEIROS
- 95 - BANHEIROS
- 96 - BANHEIROS
- 97 - BANHEIROS
- 98 - BANHEIROS
- 99 - BANHEIROS
- 100 - BANHEIROS



CIEE/DSE
ARQUITECTO

**ACADEMIA MILITAR
DESTACAMENTO DA AMADORA**

EDIFICIO DE ALOJAMENTO DE ALUNOS

PROJECTO DE EXECUCAO

PLANTA DO PISO 0 (CORPO 1 E 2)

UNIVERSIDADE
00111011

PROJETO Nº
0011011

DESENHO Nº
0011011

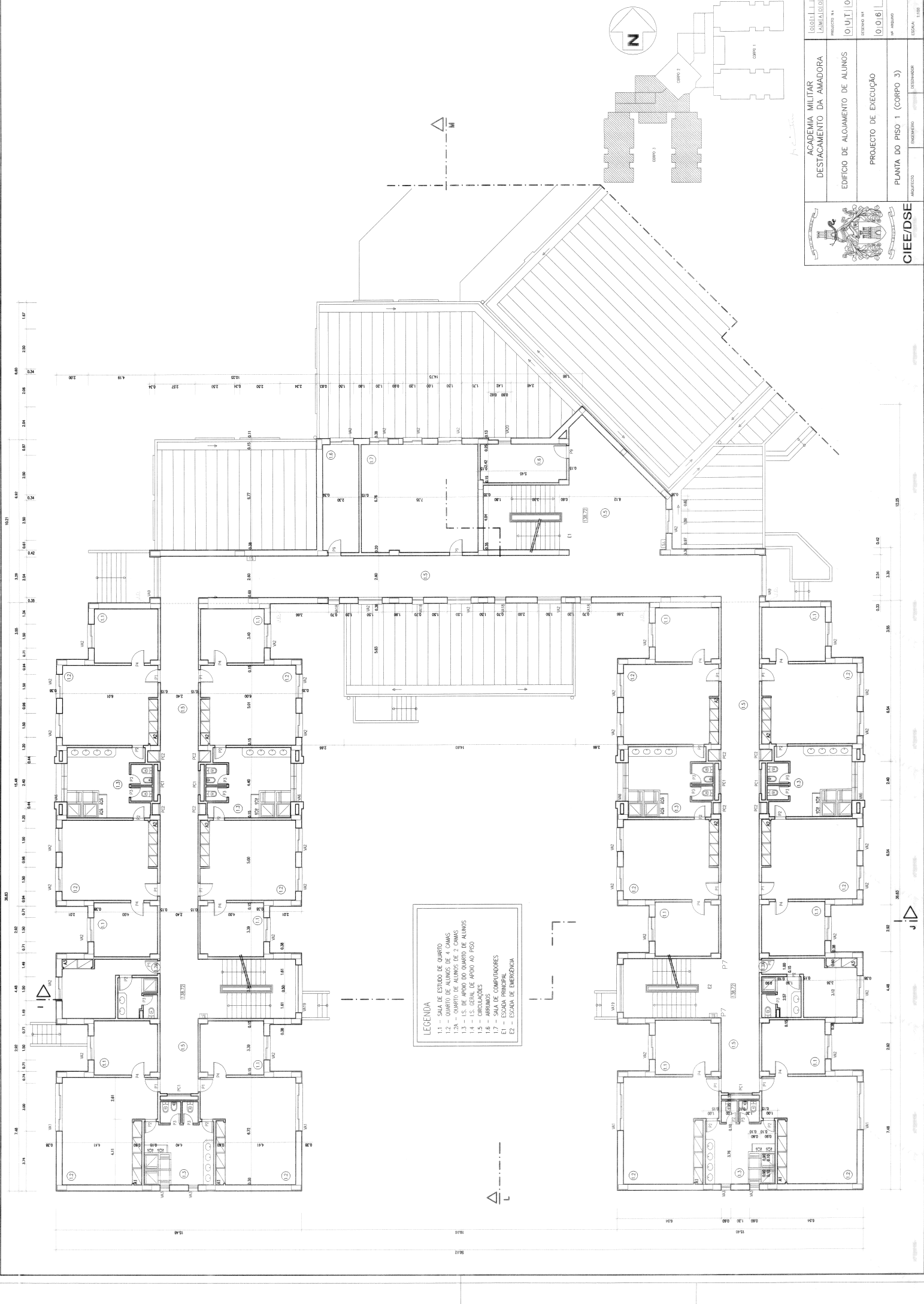
M. ANTONIO
11/00

ESCALA
1:100




COLETA TECNICA





LEGENDA

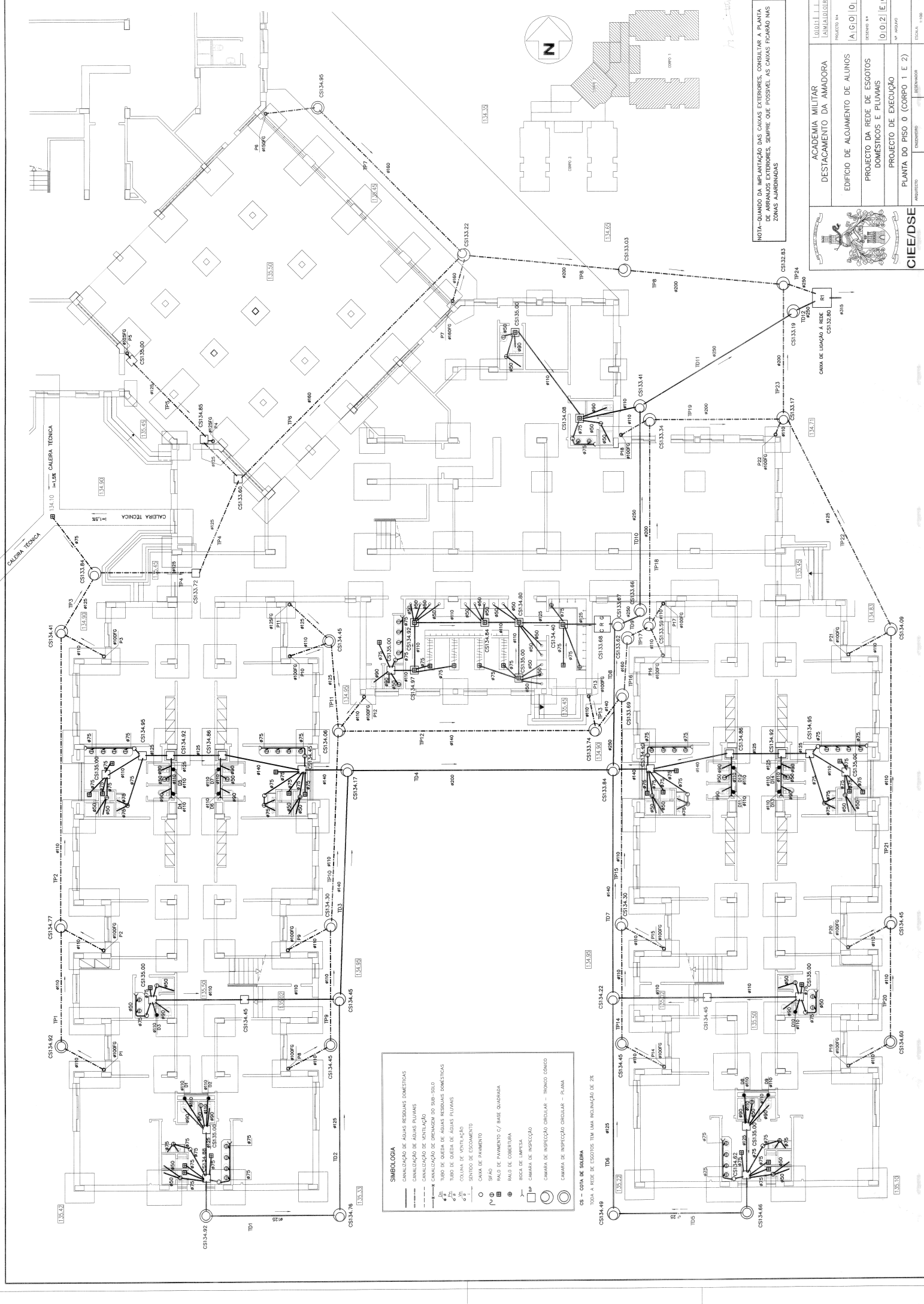
- 1.1 - SALA DE ESTUDO DE QUARTO
- 1.2 - QUARTO DE ALUNOS DE 4 CAMAS
- 1.2A - QUARTO DE ALUNOS DE 2 CAMAS
- 1.3 - I.S. DE APOIO DO QUARTO DE ALUNOS
- 1.4 - I.S. DE APOIO DO QUARTO DE ALUNOS
- 1.5 - CIRCULADORES
- 1.6 - ARRUMADOS
- 1.7 - SALA DE COMPUTADORES
- E1 - ESCADA PRINCIPAL
- E2 - ESCADA DE EMERGENCIA



CIEE/DSE
 ENGENHEIRO
 ESCALA: 1:100

ACADEMIA MILITAR
DESTACAMENTO DA AMADORA
 EDIFÍCIO DE ALOJAMENTO DE ALUNOS
 PROJECTO DE EXECUÇÃO
 PLANTA DO PISO 1 (CORPO 3)

PROJECTO Nº: 01/11/011
 DESIGN Nº: 01/06/11
 Nº ANEXO: 1
 ESCALA: 1:100



SYMBOLO

- CANALIZAÇÃO DE ÁGUAS RESÍDUAS DOMÉSTICAS
- CANALIZAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
- CANALIZAÇÃO DE VENTILAÇÃO
- TUBO DE CÂMERA DE BOMBEAMENTO DO SUB-SOLO
- TUBO DE CÂMERA DE ÁGUAS RESÍDUAS DOMÉSTICAS
- CÂMERA DE VENTILAÇÃO
- SENTIDO DE ESCORRIMENTO
- CÂMERA DE PAVIMENTO
- SIFÃO
- RALO DE PAVIMENTO / BASE QUADRADA
- RALO DE COBERTURA
- RICA DE LIMPEZA
- CÂMERA DE INSPEÇÃO
- CÂMERA DE INSPEÇÃO CIRCULAR - TRONCO CÔNICO
- CÂMERA DE INSPEÇÃO CIRCULAR - PLANA

CS - COTA DE SOBEIRA
 TODA A REDE DE ESGOTOS TEM UMA INCLINAÇÃO DE 2%

NOTA - QUANDO DA IMPLANTAÇÃO DAS CÂMERAS EXTERIORES, CONSULTAR A PLANTA DE ARRANJOS EXTERIORES, SEMPRE QUE POSSÍVEL AS CÂMERAS FICARÃO NAS ZONAS ARRANJADAS

ACADEMIA MILITAR
 DESTACAMENTO DA AMADORA

EDIFÍCIO DE ALOJAMENTO DE ALUNOS

PROJECTO DA REDE DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E PLUVIAIS

PROJECTO DE EXECUÇÃO

PLANTA DO PISO 0 (CORPO 1 E 2)

ARQUITECTO: ESCENARIOS

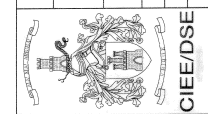
ENGENHEIRO: ESCENARIOS

ESCALA: 1:100

PROJETO Nº: A/G/O/01

FOLHA Nº: A/G/O/01

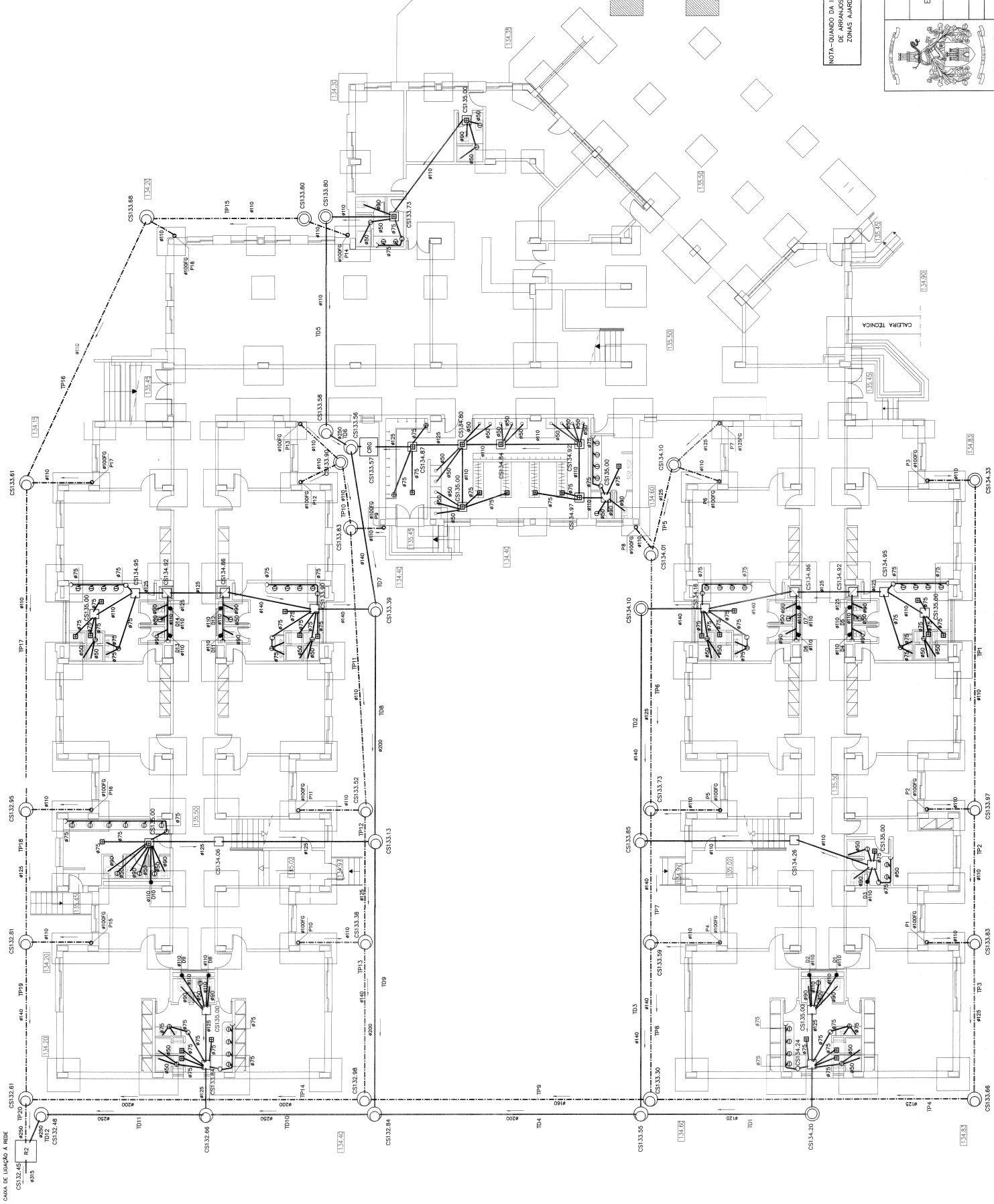
DATA: 10/01/2010



CIEE/DSE

SIMBOLÓGICA	
	REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS
	REDE DE VENTILAÇÃO
	REDE DE QUADE DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS
	REDE DE QUADE DE ÁGUAS PLUVIAIS
	REDE DE VENTILAÇÃO
	LAJE DE PAVIMENTO
	LAJE DE PAVIMENTO C/ BASE QUADRADA
	LAJE DE COBERTURA
	CAIXA DE LIMPESIA
	CAIXA DE INSPEÇÃO
	CÂMARA DE INSPEÇÃO CIRCULAR - TRONCO CÔNICO
	CÂMARA DE INSPEÇÃO CIRCULAR - PLANA

CS - COTA DE SOLERA
 TODA A REDE DE ESGOTOS TEM UMA INCLINAÇÃO DE 2%



NOTA-QUANDO DA IMPLANTAÇÃO DAS CAIXAS EXTERIORES, CONSULTAR A PLANTA DE ARRANJOS EXTERIORES. SEMPRE DAR PREFERÊNCIA ÀS CAIXAS FIGURADAS NAS ZONAS ARRANJADAS

	ACADEMIA MILITAR	PROJETO Nº	01.01.11.11
	DESTACAMENTO DA AMADORA	ESCALA Nº	A G O 0 1
	EDIFÍCIO DE ALOJAMENTO DE ALUNOS	ESCALA Nº	0 0 6 E G
	PROJECTO DA REDE DE ESGOTOS DOMÉSTICOS E PLUVIAIS	OP. Nº	01.01.11.11
CIEE/DSE		PROJETO Nº	01.01.11.11
PLANTA DO PISO 0 (CORPO 3)		ESCALA Nº	01.01.11.11
ARQUITETO		ESCALA Nº	01.01.11.11
ENGENHEIRO		ESCALA Nº	01.01.11.11

Anexo G – Depósito horizontal para enterrar (catálogo)

25/09/2016

Depósito Horizontal para Enterrar

ecoted 



Linha Agrícola

Depósitos Horizontais para Enterrar

Depósito Horizontal para Enterrar 60.000L



Depósito Horizontal para Enterrar 60.000L

Referência: DHE60000

Condição: Novo

Fabricados em Polietileno de Alta Densidade – PEAD.

Volumes de 2000 a 75.000 Lt.

15 970,32 €

-20% 19 962,90 €

Quantidade

<http://ecoted.pt/depositos-horizontais-para-enterrar/85-deposito-horizontal-para-enterrar-2000l.html>

1/5

FICHA INFORMATIVA

Volume	60.000 L
Diámetro	2320 mm
Comprimento	15600 mm
Altura	2460 mm
Tampa	600 mm

MAIS INFORMAÇÃO

Acesso ao interior por tampa colocada na parte superior.

De fácil transporte e instalação.

Boa sustentabilidade e peso reduzido, longa duração, qualidade alimentar e tratamento anti-UV, imputrescível, resistentes à corrosão, fácil limpeza,

Possibilidade de colocação de entradas e saídas nas zonas superiores e inferiores para conexão de tubagens.

Disponíveis tampas com fechos anti-intrusão

Anexo H – Implantação da solução em estudo



LEGENDA

- Ponto de captação das águas residuais domésticas
- Direção do escoamento
- Rede de drenagem das águas residuais domésticas
- ▭ Obra de entrada (processo de gradagem)
- ▭ C1 C2 C3 Fossa Séptica de 3 compartimentos
- ▭ Leito de macrófitas
- ▭ Unidade de desinfecção
- ▭ Reservatório
- Estação elevatório
- Rede de abastecimento da ART
- ⊕ Ponto de consumo
- Linhas e pontos de cota



Implantação da solução em estudo	
Pedro Pinto da Costa	Escala 1:1000
Dezembro 2016	