



**FCTUC** DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

# **Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas. Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil  
na Especialidade de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente

Autor

**Ricardo Manuel Alves de Resende**

Orientador

**António Manuel Freire Diogo**

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Janeiro, 2012



## Agradecimentos

Ao meu filho João

Ao meu orientador, Dr. António Diogo

Aos meus amigos

A todos os que contribuíram directa ou indirectamente para que fosse possível a elaboração desta tese, sendo devida especial referência:

Diego Navarro (Águas de Barcelos)

Domingo Zarco (Grupo Sacyr Vallehermoso)

Márcia Mortal (Águas do Algarve)

Miguel Maciel (Acciona)

Paula Nogueira (SMAS Ponta Delgada)

Tedi Oliveira (SIMLIS)

Luis Oliveira (SCPS)

## Resumo

A gestão dos recursos hídricos é cada vez mais importante tendo em conta o crescimento da população mundial e as alterações climáticas em curso. As necessidades de água potável para consumo humano, produção de alimentos e o desenvolvimento industrial colocam em risco as reservas naturais dessa fonte de vida, principalmente em zonas áridas, fomentando a necessidade de encarar a reutilização de águas residuais como alternativa às fontes naturais. Tendo em conta os aspectos ambientais, económicos e sanitários ou de saúde pública, analisam-se os meios de obtenção de água das diversas fontes naturais de água doce, de dessalinização e o tratamento de águas residuais, de modo a comparar o custo/risco-benefício de cada fonte. No entanto, apesar dos três aspectos não poderem ser analisados independentemente, as questões sanitárias são as que implicam maior preocupação porque implicam riscos de saúde pública, com elevado impacto social e económico. Considerar a sua reutilização implica níveis de tratamento superiores, minimizando riscos sanitários e ambientais, menos descargas poluentes em meios aquáticos e principalmente, a disponibilidade de água como mais-valia na produção industrial ou de alimentos, ou rega paisagística, sendo presentemente a agricultura o maior consumidor. Tratando-se de um trabalho de síntese, considerou-se a descrição dos diversos processos reconhecendo as mais-valias e potenciais riscos na sua aplicabilidade de modo a se poder pré avaliar casos em estudo. A elaboração de propostas finais com fins comerciais ou de aplicabilidade prática, requererá a análise correcta de cada variável, seja económica, ambiental, sanitária, de recursos e condições de aplicabilidade.

## **Abstract**

The management of water resources is becoming increasingly important considering the growth of the world's population and climate changes in progress. The needs of drinking water for human consumption, food production and industrial development threaten the natural water reservations of this source of life, especially in arid areas, promoting the necessity to address the reuse of wastewater as an alternative to natural sources. Taking into account the environmental, economic, sanitary or public health aspects, we examine the means of obtaining water from several natural sources of fresh water, desalination and wastewater treatment, in order to compare the cost / risk-benefit for each source. However, despite the three aspects can not be analyzed independently, sanitary issues are those that involve a greater concern because they involve public health risks, with high social and economic impact. To take into consideration its reuse implies higher levels of treatment, minimizing sanitary and environmental risks, less polluting discharges into water bodies and especially water availability as something of added value in industrial or food production, or landscaping irrigation, as agriculture is currently its biggest consumer. Since this is a work of synthesis, it was considered the description of the various processes, recognizing the strengths and potential risks in its applicability in order to be able to pre assess cases under study. The preparation of final proposals for commercial or practical applicability, will require a correct analysis of each variable, whether economic, environmental, sanitary, resources or conditions of applicability.

## Índice

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
INDICE	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE QUADROS	ix
1. Introdução	1
2. Tratamento de águas residuais	3
2.1. Enquadramento geral	3
2.2. Tratamento primário	4
2.3. Tratamento secundário	4
2.4. Tratamento terciário e complementar	5
2.5. Custos de tratamento	6
3. Águas Subterrâneas e Superficiais	8
3.1. Enquadramento global	8
3.2. Referências de qualidade para água	8
3.3. Processo de tratamento	9
3.4. Custos de tratamento em Portugal	10
4. Dessalinização	12
4.1. Considerações gerais	12
4.2. Métodos de Destilação	14
4.2.1. Principais métodos	14
4.2.2. Destilação Multi-Estágios (MSF)	14
4.2.3. Destilação Multi-Efeito (MED)	15
4.2.4. Compressão de vapor	16
4.3. Métodos de Membrana	16
4.3.1. Considerações gerais	16
4.3.2. Osmose Inversa	17

4.4. Captação e pré-tratamento	18
4.5. Pós-tratamento	20
4.6. Impactos ambientais	21
4.7. Custos de produção	21
5. Reutilização de Águas Residuais	23
5.1. Enquadramento	23
5.2. Benefícios e riscos	24
5.2.1. Económicos	24
5.2.2. Sociais e de saúde pública	25
5.2.3. Ambientais	25
5.3. Aplicações de reutilização	27
5.3.1. Reutilização em rega agrícola	27
5.3.2. Reutilização em rega paisagística	31
5.3.3. Reutilização em indústria	31
5.3.4. Reutilização em recarga de aquíferos	31
5.3.5. Reutilização em usos ambientais e recreativos	32
5.3.6. Reutilização em usos urbanos não potáveis	33
6. Exemplos de Reutilização	34
6.1. Porto Santo (Portugal) – Rega agrícola e campo de golfe	34
6.2. Orange City, Califórnia (EUA) – Recarga de Aquíferos	35
6.3. Jogos Olímpicos de Londres, 2012 – Usos ambientais e recreativos	36
6.4. Santiago Golf Resort, Ilha de Santiago, Cabo Verde (em estudo)	36
7. Avaliação de Gestão de Recursos Hídricos - Sociedade Turística Costa de Prata, Cabo Verde	38
7.1 Localização e clima	38
7.2. Necessidades hídricas	39
7.3. Gestão hídrica	40
7.3.1. Água potável	40
7.3.2. Água residual	41
7.4. Avaliação das hipóteses alternativas para o empreendimento.	43
7.4.1. Considerações gerais e requisitos básicos	43
7.4.2. Hipóteses de utilização dos recursos	44
7.4.3. Análise económica	45
8. Conclusões	49
9. Referências Bibliográficas	52

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

	ÍNDICE
ANEXO A	57
ANEXO B	60



## Índice de Figuras

Figura 1.1. Enquadramento genérico do recurso água doce no contexto do presente trabalho.	2
Figura 2.1. Exemplo de um esquema genérico de um tratamento secundário.	3
Figura 2.2. Custo percentual do tratamento terciário em algumas regiões.	7
Figura 3.1. Distribuição de Água no Planeta.	8
Figura 3.2. Origem da água captada em Portugal.	9
Figura 3.3. Esquema tipo de tratamento de água de origem superficial em Portugal.	10
Figura 3.4. Tarifas de Abastecimento em Alta em Portugal.	11
Figura 4.1. Distribuição mundial de escassez física de recursos hídricos.	13
Figura 4.2. Esquema de funcionamento da destilação MSF.	15
Figura 4.3. Esquema de funcionamento da destilação MED.	16
Figura 4.4. Evolução da capacidade de dessalinização mundial.	18
Figura 4.5. Esquema duma central dessalinizadora.	19
Figura 4.6. Pormenor da membrana em espiral e princípio de funcionamento.	19
Figura 4.7. Custos de dessalinização em alguns locais e países espalhados pelo mundo.	22
Figura 5.1. Taxa de reutilização de águas residuais em alguns países.	23
Figura 6.1. Notícia de acordo para reutilização de águas residuais no parque olímpico.	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 7.1. Localização de Cabo Verde.	38
Figura 7.2. Plano de pormenor do resort Costa de Prata.	39
Figura 7.3. Amostra de relvas com várias sensibilidades à salinidade.	42
Figura 7.4. Custos diários totais de fornecimento de água ao empreendimento.	47

**Figuras nos Anexos**

Figura A.1. Implantação da ZDTI e da SGR.	A.1
Figura A.2. Perspectiva global das questões em estudo.	A.2
Figura A.3. Evolução da precipitação anual no posto da Praia, desde 1886, até 2006.	A.2
Figura B.1. Ilustração do balanço hídrico para rega paisagística.	B.1
Figura B.2. Sistema de abastecimento de água potável.	B.2
Figura B.3. Sistema de drenagem de águas residuais domésticas.	B.3
Figura B.4. Sistema de abastecimento de água reciclada.	B.4

## Índice de Quadros

Quadro 2.1. Taxa de Remoção Média em Portugal de Alguns Poluentes.	5
Quadro 2.2. Processos de tratamento mais utilizados para a remoção de classes de poluentes em águas residuais tratadas para reutilização.	6
Quadro 4.1. Processos de dessalinização.	12
Quadro 4.2. Custos de dessalinização em alguns locais e países espalhados pelo mundo.	22
Quadro 5.1. Tempo de Sobrevivência de patogénicos em diversos meios.	26
Quadro 5.2. Directrizes para interpretação da qualidade das águas para rega.	28
Quadro 5.3. Relação entre poluentes das águas residuais e efeitos no sistema solo-planta.	29
Quadro 5.4. Características de recargas de aquíferos.	32
Quadro 6.1. A reutilização no Porto Santo – valores em m <sup>3</sup> .	35
Quadro 7.1. Necessidades de água potável.	43
Quadro 7.2. Caudal médio destinado à rega.	44
Quadro 7.3. Resumo dos parâmetros de gestão hídrica.	44
Quadro 7.4. Hipóteses de utilização dos recursos.	45
Quadro 7.5. Custos unitários e custos totais de exploração.	46
<b>Quadros nos Anexos</b>	
Quadro B.1. Balanço hídrico para rega paisagística.	B.1

## 1. Introdução

Sendo a água um bem essencial à vida vegetal e animal, e em especial para a humanidade, a sua protecção, disponibilidade e custo é alvo de diversos estudos tendo em conta a sua qualidade na preparação e distribuição.

Por motivos climáticos ou por excesso de captação em diversos locais, principalmente para corresponder ao sobrepovoamento de algumas regiões no mundo ou para satisfazer as necessidades agrícolas ou industriais, a sua disponibilidade é escassa, com fontes já esgotadas ou irremediavelmente poluídas, impossibilitando a sua utilização potável e com riscos elevados mesmo para utilizações tais como a irrigação agrícola ou a rega paisagística.

Pretende-se com este documento analisar as características económicas, ambientais e sanitárias da reutilização de águas residuais tratadas, tendo em conta as suas características, benefícios e riscos nas diversas aplicações, em comparação com outras origens disponíveis, principalmente em regiões com carências hídricas.

A Figura 1.1 sintetiza visualmente o enquadramento genérico de alguns aspectos desenvolvidos neste trabalho, com referências à captação superficial, dessalinização, características de qualidade na utilização, e do tratamento e posterior reutilização, como na irrigação ou lavagem de arruamentos.

Depois de conhecer as fontes possíveis de água e relacioná-las no contexto de cada país, será possível fazer uma análise da relação custo-benefício para situações reais, tendo em conta as preocupações de cada região, país ou projecto.

Após esta introdução, divide-se o texto em mais sete capítulos com descrições sumárias dos processos de tratamento e recolha de águas, residuais e potáveis; benefícios e riscos da reutilização e análise de exemplos práticos e de estudo da reutilização. No capítulo 2, é apresentada uma abordagem sumária e genérica aos processos mais comuns de tratamento de águas residuais, com descrição dos vários níveis de tratamento e respectivos graus de eficiência, avaliando os custos de tratamento para os níveis secundário e terciário. No capítulo 3, é efectuada uma breve descrição das principais fontes de água potável, e é apresentado um exemplo de um processo de tratamento, tendo em vista a utilização potável e a avaliação dos respectivos custos. Tendo em conta as carências hídricas em várias regiões do planeta, aborda-se no capítulo 4 a dessalinização, os seus principais processos, com especial atenção

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## INTRODUÇÃO

para a osmose inversa, as suas potencialidades e riscos e a análise económica na produção de água doce para diferentes utilizações. Uma síntese das diversas aplicações das águas residuais tratadas e correspondentes benefícios e riscos económicos, ambientais e sanitários é objecto do capítulo 5. Nos capítulos 6 e 7 são apresentados exemplos práticos e de estudo de utilização de águas residuais tratadas e respectiva avaliação dos vários factores em jogo. Finalmente, no capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões deste trabalho, em particular, relativamente á reutilização de água reciclada, dentro do contexto espacial, características climáticas, económicas e sociais. Adicionalmente, nos anexos A e B são disponibilizados alguns documentos de apoio á avaliação efectuada através dos estudos apresentados nos capítulos 6 e 7.



Figura 1.1. Enquadramento genérico do recurso água doce no contexto do presente trabalho.

## 2. Tratamento de Águas Residuais

### 2.1. Enquadramento geral

O tratamento de águas residuais não é por si um fim, mas um meio de se garantirem inúmeros fins de sustentabilidade ambiental e garantia da saúde pública. O tratamento de águas residuais urbanas, ou mesmo industriais, é encarado actualmente em todo o planeta, não obstante os escassos recursos económicos existentes em muitos países subdesenvolvidos, como uma necessidade primordial, tendo em conta os efeitos adversos nos ecossistemas a jusante das utilizações. A reutilização de água após tratamento poderá deste modo apresentar múltiplas vantagens.

Descrevem-se em seguida as fases básicas de tratamento e os seus processos, cujo esquema genérico tipo mais frequente em Portugal é o apresentado esquemáticamente na Figura 2.1. O tratamento secundário é o tratamento mínimo para descarga no meio ambiente, sejam linhas de água, mar ou recarga de aquíferos, embora as exigências para descarga em meios sensíveis sejam superiores (geralmente associados a perigos de eutrofização), obrigando à remoção de nutrientes no tratamento terciário. Além destes processos, existe sempre a necessidade de controlar as características do afluente e do efluente, dependentes neste caso, do destino final, de modo a minimizar os riscos ambientais e de saúde pública.

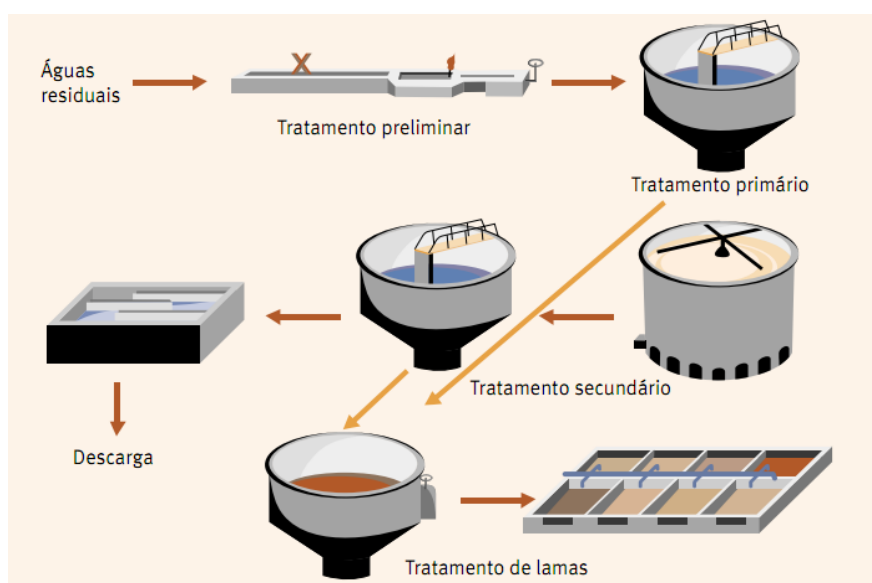


Figura 2.1. Exemplo de um esquema genérico de um tratamento secundário. (SANTOS, 2002)

## 2.2. Tratamento primário

Existem várias operações no processo de tratamento primário, sendo essencialmente um processo físico, embora ocorram algumas reacções químicas que reduzem alguns parâmetros de poluição neste nível. Sendo um processo simples que geralmente, no caso de pequenos sistemas de saneamento isolados, é realizado pelas fossas sépticas, tem particular importância na retenção de sólidos, susceptíveis de provocar danos nos equipamentos a jusante, servindo também de preparação aos processos biológicos seguintes.

A primeira operação a que é submetida a água ao entrar na Estação de Tratamento de Águas Residuais, vulgo ETAR, é normalmente a gradagem, onde são recolhidos sólidos grosseiros de maiores dimensões. Daí, o efluente segue normalmente para a desarenação onde se processa a sedimentação de sólidos inorgânicos como areias, mas também sólidos orgânicos mais pesados. Este processo pode ser realizado por três tipos de desarenador:

- Desarenador com velocidade constante (cerca de 0.3m/s), controlada por um controlador/medidor de caudal;
- Desarenador arejado com injeção de ar comprimido, provocando trajectórias helicoidais da água, depositando as partículas mais pesadas, mantendo as mais leves em suspensão;
- Desarenador tipo vortex, em que a água circula em vórtice num tanque circular, projectando as partículas mais pesadas para as paredes inclinadas do tanque, onde escorrem para o fundo e são recolhidas.

Não obstante a possível utilização de outras operações menos frequentes no tratamento preliminar, a operação seguinte é normalmente a sedimentação primária, em que a quase totalidade dos sólidos sedimentáveis são removidos e também uma parte significativa dos sólidos suspensos. Com esta operação, é aliviada a carga poluente sobre o tratamento biológico por via da sedimentação de sólidos orgânicos sedimentáveis (cerca de 40 a 50% de SST), embora se mantenham as partículas dissolvidas, cuja flocculação poderá ocorrer em estações mais pequenas desde que o tempo de retenção seja significativamente elevado.

## 2.3. Tratamento secundário

Durante o nível secundário do tratamento das águas residuais, pretende-se reduzir a carga orgânica poluente do efluente primário, ou seja a remoção de matéria orgânica dissolvida e em suspensão e a restante parte de sólidos em suspensão, conforme exposto no Quadro 2.1, onde se comparam algumas taxas de eficiência das fases de tratamento por característica poluente em termos padrão para valores de Portugal. Também neste nível de tratamento poder-se-á recorrer aos métodos físico-químicos ou a métodos biológicos, sendo estes últimos os mais utilizados por serem, em geral, economicamente mais vantajosos, quer em termos de custos de instalações, quer de exploração.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Quadro 2.1. Taxa de remoção média em Portugal de alguns poluentes.  
(adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

Poluente	Unid.	Valor Típico Portugal	Remoção (%) do poluente após tratamento:				Valor do poluente após Tratamento:		
			Prim.	Sec.	Terc. / Compl.	Total	Unid.	Sec.	Terc. / Compl.
Sólidos Totais (ST)	mg/L	715	9	10	78	97	mg/L	579,15	21,45
Sólidos em Suspensão Totais (SST)	mg/L	190	40	55	4	99	mg/L	9,5	1,9
Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO5)	mg/L O2	290	19	74	5	98	mg/L O2	20,3	5,8
Azoto Amoniacal (N-NH4)	mg/L	38	5	52	40	97	mg/L	16,34	1,14
Fósforo Inorgânico (P-ort)	mg/L P	9	16	28	54	98	mg/L P	5,04	0,18
Cloretos	mg/L	128	3	0	90	93	mg/L	124,16	8,96
Sulfatos	mg/L	47	9	0	91	100	mg/L	42,77	0

O tratamento secundário por métodos biológicos serve-se de microrganismos para digerir a matéria orgânica, principalmente em condições aeróbias, daí a utilização de reactores para fornecer oxigénio à água residual, permitindo a digestão aeróbia e simultaneamente dotar a água efluente da ETAR com índices mais elevados de oxigénio, e os decantadores secundários usados para clarificar o líquido e espessar as lamas provenientes da sedimentação. Os reactores biológicos são o coração das estações de tratamento onde os microrganismos decompõem a maior parte da matéria orgânica existente, e podem ser: de culturas suspensas, como o sistema de lamas activadas, onde os microrganismos em suspensão ou aglomerados em flocos estão rodeados por água residual que contém o alimento; ou de culturas fixas, como leitos percoladores, cujos microrganismos se organizam num filme microbiano fixo em superfícies inertes, por onde passa a água residual.

### 2.4. Tratamento terciário e complementar

O tratamento terciário e/ou complementar procede o secundário e serve para afinar a qualidade do efluente final de modo a dotá-lo de condições de descarga ou com utilizações mais exigentes e/ou com padrões de qualidade superiores. As exigências mais frequentes são a remoção de nutrientes, principalmente por questões ambientais e a desinfecção, quando se prevê o possível contacto humano, directo ou indirecto.

Sendo o tratamento secundário o patamar mínimo de tratamento para descarga no meio receptor, deve-se ter em conta que é insuficiente, considerando todas as utilizações possíveis, devendo-se providenciar todos os métodos necessários, de modo a garantir a qualidade da água em função do uso. Por isso, o tratamento terciário serve para reduzir a descarga de poluentes microbiológicos e patogénicos, metais pesados, substâncias tóxicas, sais e nutrientes que o nível secundário não remove. Como descrito atrás, em função da utilização ou meio de descarga, poderá haver a necessidade de remover mais compostos da água residual, sendo os nutrientes um exemplo de como pode ser útil na reutilização de águas residuais para rega na agricultura e um composto nefasto e perigoso em albufeiras, por promover o crescimento de algas, com a eventual produção de toxinas que contaminam as fontes de água, reduzindo o oxigénio e condicionando, ou mesmo eliminando a fauna aquática. Para a eliminação de microrganismos, o método mais utilizado e económico de desinfecção é a aplicação de cloro, embora possa ser ineficaz na eliminação de alguns vírus



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

com concentrações elevadas, e a permanência de resíduos de cloro sejam prejudiciais ao meio ambiente e com indícios de formação de trihalometanos (Meyer, 1994) na reacção do cloro com compostos orgânicos, com potenciais riscos para a saúde pública. Para melhores resultados, o processo mais eficaz, embora mais oneroso, é a desinfecção por ultravioletas, que não deixa resíduos e apresenta muito bons resultados na eliminação de bactérias e vírus.

Existem diversas operações para remover os vários poluentes, conforme resumido no Quadro 2.2. Sendo importante saber o destino final das águas residuais tratadas, para se poder garantir a qualidade das mesmas, relativamente ao fim a que se destinam, tendo em conta factores económicos, ambientais, de aplicabilidade e sanitários.

Quadro 2.2. Processos de tratamento mais utilizados para a remoção de classes de poluentes em águas residuais tratadas para reutilização. (adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

Processo de Tratamento	Poluentes									
	Sólidos em suspensão	Materia coloidal	Materia inorgânica	Materia orgânica	Azoto	Fosforo	Compostos vestigiais	Sólidos dissolvidos	Bactérias	Virus
<b>Tratamento Secundário</b>										
Lamas activadas	X		X	X	X					
Leitos percoladores	X		X	X	X					
Discos biológicos	X		X	X	X					
Coagulação química	X	X	X							
Flotação ou Decantação	X		X							
Filtração granular	X		X							
Tamisação	X		X							
Reactor de membranas	X		X	X	X					
Lagoas de estabilização	X		X	X	X					
Leitos de macrófitas	X		X	X	X					
<b>Tratamento Terciário e Complementar</b>										
Lamas activadas				X	X	X				
Filtros biológicos	X			X	X	X				
Reactor de membranas	X			X	X	X	X			
Lagoas de macrófitas	X			X	X	X	X			
Tratamento avançado	X									
Microfiltração	X	X	X							
Ultrafiltração	X	X	X							
Flotação com ar dissolvido	X	X	X							
Nanofiltração			X	X			X	X	X	X
Osmose inversa				X	X	X	X	X	X	X
Adsorção com carvão activado				X			X			
Permuta iónica					X		X	X		
Desinfecção				X					X	X

## 2.5. Custos de tratamento

## TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Os custos de tratamento de águas residuais em Portugal são disponibilizados pelo ERSAR e o custo médio do serviço em alta e para sistemas multimunicipais foi 0,51€/m<sup>3</sup> para o ano de 2009. Pode-se considerar este valor como valor referência do tratamento secundário para Portugal, porque embora existam algumas ETAR's com tratamento terciário, principalmente com remoção de nutrientes, também existem muitas outras sem tratamento ou tratamento primário, conforme informação do INSAAR.

A análise de custos de um sistema com tantas variáveis é sempre muito difícil, porque a escala dos sistemas varia, os processos de tratamento podem ser mais ou menos otimizados, as características dos afluentes não são iguais, a dispersão ou concentração de populações também afecta os custos unitários de funcionamento e tratamento. Para uma análise da possibilidade de reutilização de águas residuais, é importante conhecer os custos de tratamento secundário e terciário, de modo a que a decisão final do seu uso seja devidamente fundamentada em termos económicos.

Com base em alguma bibliografia e estudos de situações concretas de países tão distantes como Estados Unidos, Israel ou Chipre, poder-se-á deduzir uma parcela de 32% nos custos com o tratamento terciário, conforme CAROLLO (2008), para a cidade de Riverside (EUA), com 32%, Hidalgo e Irusta (n.d.), para Cavo Greco (Chipre), com valores totais de tratamento terciário de 0,50€/m<sup>3</sup>, dos quais 0.35€ são custos do tratamento secundário, ou então o estudo para Water Commission, Israel, conforme Figura 2.2, que junta, ilustra e compara os estudos anteriormente referidos.

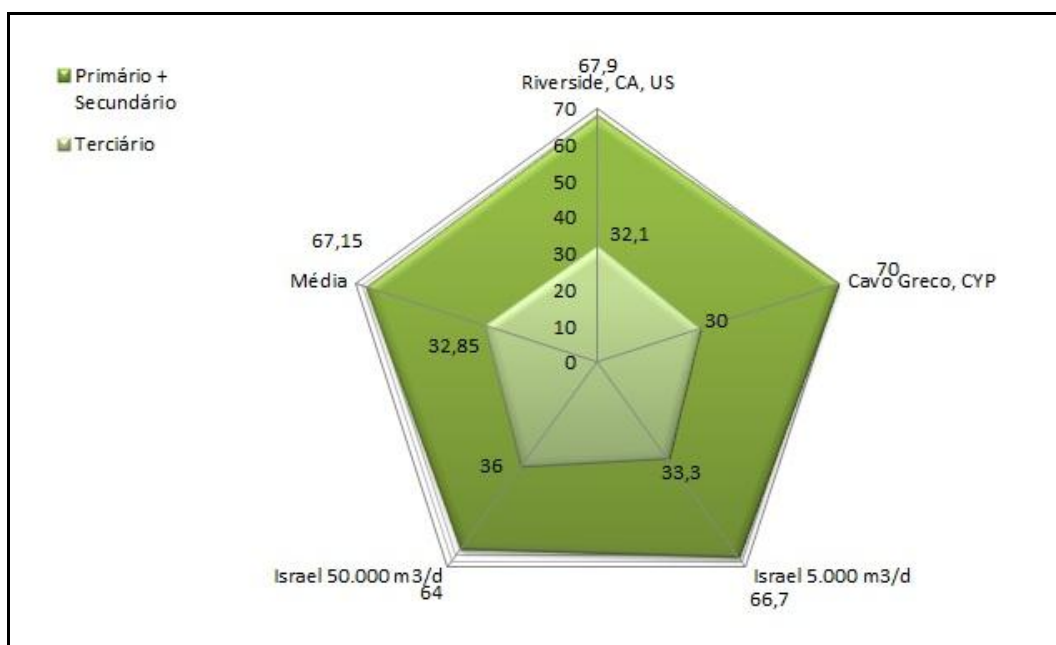


Figura 2.2. Custo percentual do tratamento terciário em algumas regiões.

### 3. Águas Subterrâneas e Superficiais

#### 3.1. Enquadramento global

O nosso planeta aparenta ter nos oceanos e mares uma fonte inesgotável de água salgada. A Figura 3.1, adaptada da UNEP-United Nations Environment Programme, representa de maneira simples, a distribuição percentual dos recursos hídricos no nosso planeta. A água doce representa apenas 2,5% das reservas de água do planeta, distribuída por glaciares ou superfícies geladas, lagos e rios, e água subterrânea. É da parte líquida dessa água doce que são garantidas as necessidades de quase toda a humanidade e actividades associadas, desde agricultura à indústria.

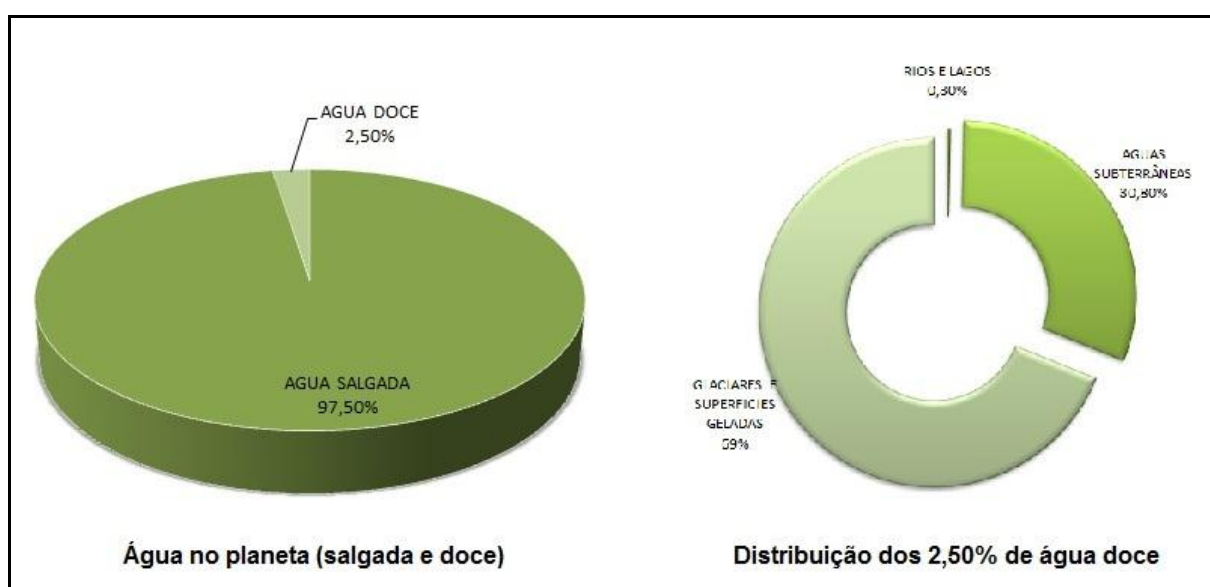


Figura 3.1. Distribuição de água no planeta. (adaptado de UNEP, 2009)

A procura de água doce cresce ao ritmo do aumento da população e das suas necessidades, sendo imperioso garantir as quantidades e qualidade necessárias ao consumo, essencialmente humano, mas também à garantia de vida de outras espécies e salvaguardando o ambiente. Os processos de captação, tratamento e distribuição de água doce são devidos á necessidade de satisfação do consumo humano, directo e indirecto (agricultura e actividades associadas).

#### 3.2. Referências de qualidade para a água

A generalidade dos países possuem legislação para a qualidade de águas potáveis, e quando tal não acontecer devem-se usar normas internacionais e valores de referência de países com características de água semelhantes. Neste trabalho, serão consideradas as directivas europeias, adaptadas à legislação nacional. Para Portugal, as águas captadas em superfície ou subterrâneas são classificadas nas categorias A1, A2 e A3, correspondendo-lhes

## ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

consequentemente, o esquema padrão de tratamento indicado a cada categoria, segundo o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto.

Em Portugal, segundo o INSAAR (2010) (Figura 3.2), aproximadamente dois terços da água captada para abastecimento potável é de origem superficial (rios ou albufeiras) e a restante de origem subterrânea, não sendo consideradas as captações de água salgada, admitidas irrelevantes numa análise do contexto nacional. Estas últimas embora tendo como fonte a natureza, contêm elementos que devem ser eliminados, para garantir a potabilidade necessária.

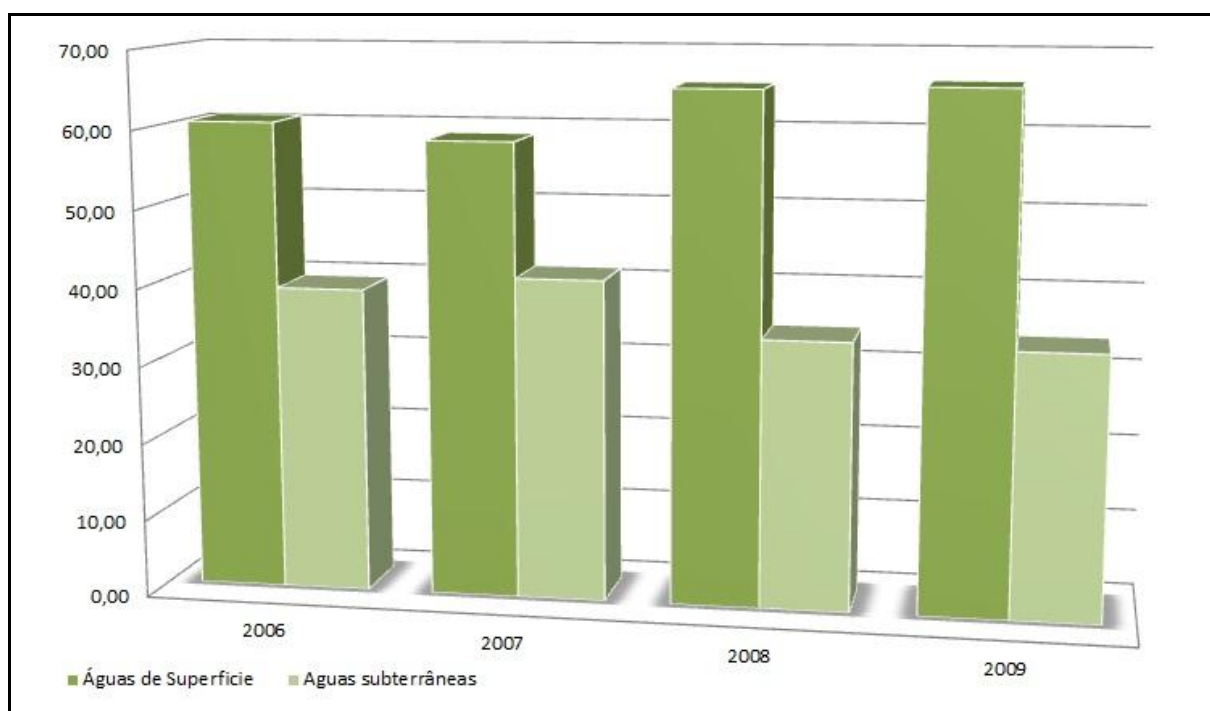


Figura 3.2. Origem da água captada em Portugal. (INSAAR, 2010)

### 3.3. Processo de tratamento

Os processos de tratamento de águas para consumo humano podem ter várias etapas, operações e ordem de aplicação diversa, em função das características e origem da captação. A primeira operação é geralmente a oxidação que serve para promover a desinfecção, oxidação da matéria orgânica, com eliminação de microrganismos e algas existentes. Também pode ser usada com adição de carvão activado, para remoção de cheiros, sabores, toxinas e eventuais presenças de pesticidas. De seguida, a água pode ser decantada por formação de flocos de matéria, provocada por adição de sais e coagulante. Este processo pode eventualmente ser preterido á filtração. Para finalizar, a água é desinfectada, de modo a remover eventuais microrganismos e a operação é geralmente conseguida por adição de cloro, mas também pode ser efectuada por ozonização ou radiação UV.

## ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

Embora os sistemas de tratamento possam apresentar algumas variações de ordem ou processos, devido a características da água ou tipo de captação, o procedimento usual é conforme o esquema da Figura 3.3, extraída de “O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem” de Rosa et al (2009). O esquema escolhido para ilustrar este documento baseia-se na simples constatação de que dois terços da água em Portugal são captados superficialmente.

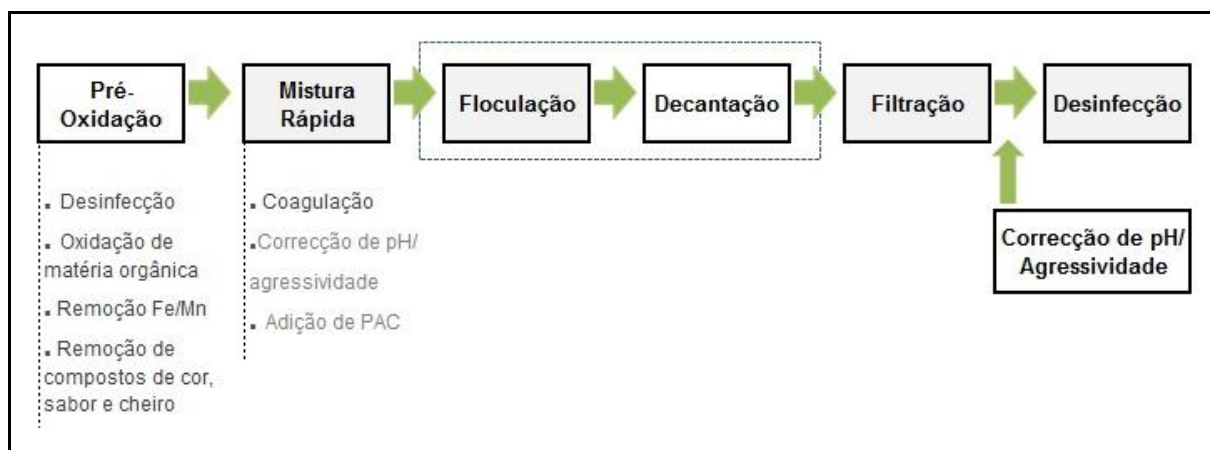


Figura 3.3. Esquema tipo de tratamento de água de origem superficial em Portugal.  
(adaptado de ROSA et al, 2009)

Na fase final do processo de tratamento e após a sedimentação dos flocos (lamas), a água limpa é desinfectada por cloro, libertando-a de qualquer actividade bacteriológica até ao consumo final, sendo ajustado o pH, cujo processo se chama de remineralização, garantindo-lhe também características de protecção às tubagens de transporte até às torneiras.

### 3.4. Custos de tratamento em Portugal

Em Portugal, a água potável distribuída é usada principalmente para consumo doméstico e tem custos de produção médios na ordem de €0,482 /m<sup>3</sup> (ERSAR, 2011). Estes custos incluem os custos financeiros de investimento e distribuição em alta, existindo uma importante amplitude de valores entre as diversas empresas de tratamento e distribuição. A Figura 3.4, elaborada com base em dados da ERSAR (2011), apresenta as tarifas médias anuais de abastecimento em alta em Portugal, no período compreendido entre 2002 e 2010.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS

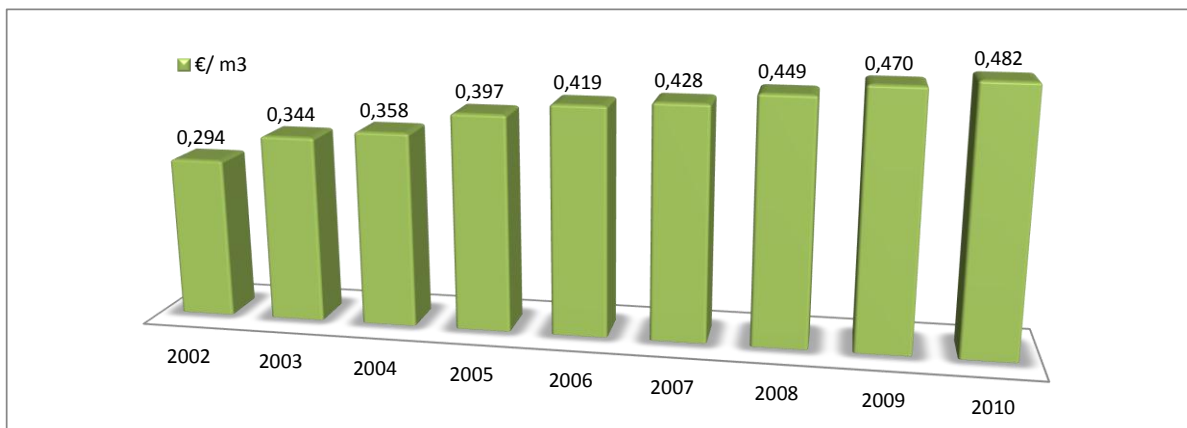


Figura 3.4. Tarifas médias de abastecimento em alta em Portugal no período de 2002 a 2010.  
(ERSAR, 2011)

A importância desta abordagem tem a ver com o facto de que muitas utilizações que poderão vir a ser supridas com águas residuais tratadas são actualmente satisfeitas pela rede de água potável, principalmente em meios urbanos. Por isso, é importante ter conhecimento dos custos de cada serviço para uma análise comparativa das diferentes alternativas.

## 4. Dessalinização

### 4.1. Considerações gerais

A dessalinização é o processo usado para separar os sais minerais dissolvidos da água salobra ou salina, cuja captação pode ser subterrânea ou superficial, de modo a torná-la própria para consumo humano, mas também para outros usos, como agricultura e indústria. A taxa de remoção de sais varia conforme o processo utilizado (ver Quadro 4.1). No entanto, nas várias técnicas ou procedimentos de dessalinização, o objectivo é o de garantir a qualidade da água necessária ao consumo, independentemente do fim a que se destina. Como exemplo de eficiência do processo, consegue-se reduzir taxas de salinidade de 38,60 g/l (mediterrâneo oriental) (WHO, 2007) ou superiores, para valores de 0,50 g/l pelo processo de osmose inversa, ou mesmo para taxas ainda inferiores, por processos térmicos.

Quadro 4.1. Processos de dessalinização.

Separação	Energia	Processo	Método
Água de sais	Térmica	Evaporação	Destilação Súbita ( Flash )
			Destilação Multi-Efeitos
			Termocompressão de Vapor
			Destilação Solar
	Cristalização	Congelação	
		Formação de Hidratos	
	Filtração e Evaporação	Destilação com membranas	
Mecânica	Evaporação	Compressão Mecânica de Vapor	
	Filtração	Osmose Inversa	

Durante muitos anos, a escassez de água em diversas regiões do planeta prejudicou a saúde e a qualidade de vida dos habitantes dessas áreas, mas também privou essas regiões do desenvolvimento económico, materializado no comércio, no turismo e na indústria. A aplicação deste processo de tratamento é cada vez mais frequente devido à escassez de água doce em várias regiões do planeta, provocada por motivos, tanto naturais como resultado da actividade humana. Muitas dessas causas estão inter-relacionadas e não podem ter uma análise independente.

Em muitos locais do mundo essa escassez é potenciada pelo excessivo crescimento populacional, mas também pelo excesso de captações para produção agrícola. A exclusiva

procura de água de qualidade, questões culturais, sociais, de cariz económico, e políticas económicas e de gestão de recursos hídricos levaram à respectiva sobreexploração de recursos hídricos, nomeadamente aquíferos. Simultaneamente, por questões climáticas, como secas, traduzidas na falta de chuva, as linhas de água, tanto superficiais como subterrâneas, não são recarregadas, diminuindo a massa de água doce que forma barreira à intrusão salina aumentando a sua proliferação. Este processo de intrusão salina explica-se como uma falta de equilíbrio entre as massas de água doce e salgada, e quando as linhas de água doce baixam a sua capacidade por causas climáticas ou por excesso de extracção, a massa de água salgada invade o espaço deixado livre. Esta situação é tão mais grave quanto maior a permanência desta em espaço “doce”, e cujos efeitos podem durar dezenas de anos até à estabilização, ou ser mesmo irreversível.

A Figura 4.1 representa o nível de stress hídrico no contexto global. Segundo o relatório da WRI-FAO-UN, um país passa a ter stress hídrico quando a disponibilidade de água anual por pessoa é menor que 1700 m<sup>3</sup> e escassez hídrica quando esse valor é inferior a 1000 m<sup>3</sup> e não consegue satisfazer as necessidades humanas, económicas ou ambientais que sustentam a normalidade desse meio.

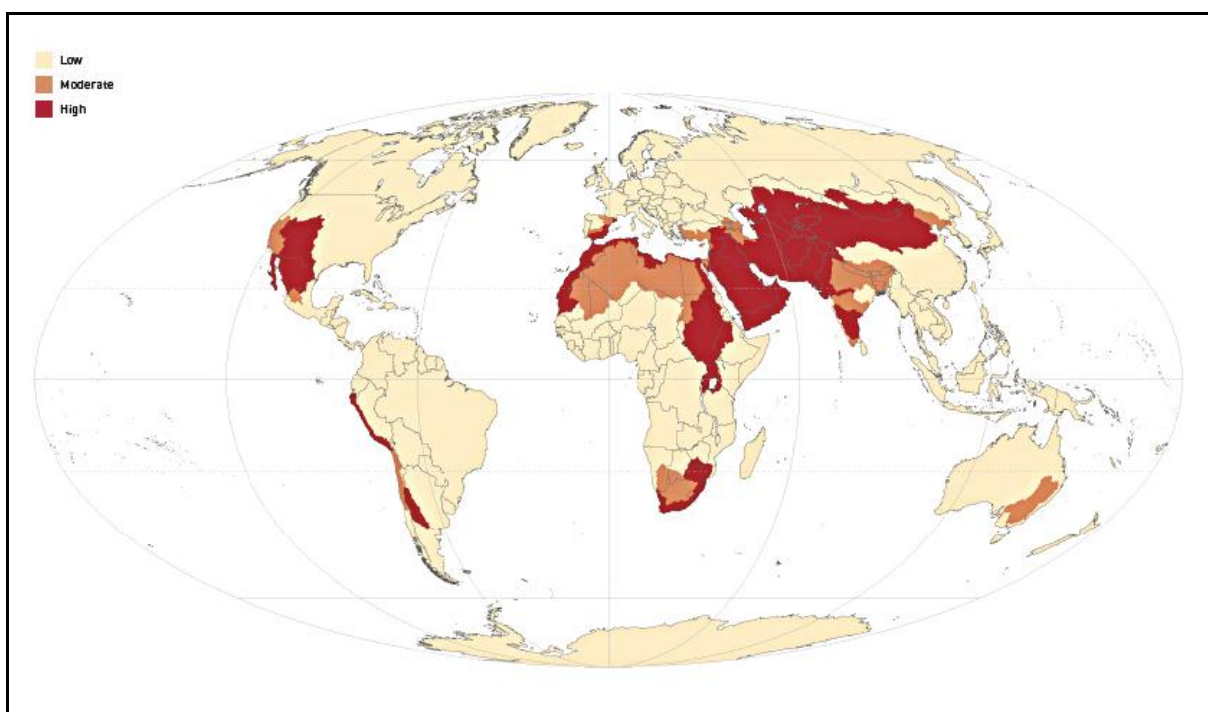


Figura 4.1. Distribuição mundial de escassez física de recursos hídricos. (FAO, 2011)

A dessalinização associada a planos de reutilização de águas residuais, para usos não potáveis, tem tido um importante crescimento nos últimos anos, promovendo-se satisfatoriamente a



eficiência na utilização dos recursos. Embora os custos de produção de água dessalinizada sejam superiores aos custos de produção de água captada em fontes naturais, ou ao tratamento de águas residuais, a necessidade supera esses custos e o desenvolvimento das tecnologias de dessalinização tem permitido a diminuição desses custos, em especial quanto à necessidade de energia para os diversos processos, ganhando-se também em termos ambientais com a redução de poluição.

O recurso à dessalinização é cada vez mais utilizado em países com problemas de stress ou escassez hídrico, como o Qatar, cujo consumo doméstico depende mais de 99% da dessalinização, segundo Mohannadi (2010), ou regiões mais isoladas, como a ilha do Porto Santo, que depende 100% de água dessalinizada para abastecimento potável (TC, 2008). Exemplos como o Qatar ou outros países, com taxas de necessidade de dessalinização elevadas, tornam esta técnica cada vez mais desenvolvida e economicamente acessível, concorrendo com as captações mais tradicionais na disponibilidade de água tratada para os diversos fins, seja o consumo humano, regas, indústria ou outras aplicações, e com a reutilização de efluentes de ETAR's.

## **4.2. Métodos de destilação**

### **4.2.1. Principais métodos**

Os principais métodos de destilação são a Destilação Multi-Estágios (MSF), Destilação Multi-Efeito (MED) e Compressão de Vapor (VCD). Este tipo de processos consegue produzir água com elevado grau de pureza, com teor de sais de 1 a 50 mg/litro. Nestes processos de destilação a água salgada ou salobra é aquecida de modo a vaporizar e posteriormente condensar, permitindo níveis muito baixos de sólidos dissolvidos, formando-se salmoura como resíduo. A quantidade de calor necessário para vaporizar um líquido é chamada de calor de vaporização, sendo para a água o ponto de ebulição a 100°C, de 1 atmosfera. Nestes processos de dessalinização, o calor gerado pela condensação de vapor é transferido para a alimentação de água, diminuindo as necessidades de consumo de combustível, melhorando por isso a eficiência térmica.

### **4.2.2. Destilação Multi-Estágios (MSF)**

A dessalinização obtida por destilação consiste em evaporar água salgada e recolher a condensação do vapor, isento de sais. Neste processo, consegue-se uma evaporação muito mais rápida (flash) devido a um abaixamento da pressão através de um sistema de vácuo. A recuperação do calor da evaporação obtém-se por sucessivas etapas em série (esquema na Figura 4.2) e a diferentes pressões. É um método usado quando a água apresenta alta salinidade, temperatura e contaminantes. As diversas etapas em série permitem-lhe ter um grau elevado de capacidade de produção, sem problemas de operacionalidade. Permite

associar sistemas de geração energética com facilidade e eficiência. No entanto, tem o problema de exigir um elevado custo energético, quer no processo de aquecimento da água, quer no processo térmico na produção eléctrica associada e ainda os custos eléctricos com o funcionamento de bombas para a circulação dos fluxos. Além disso os custos de instalação/construção não são concorrenciais com outros métodos.

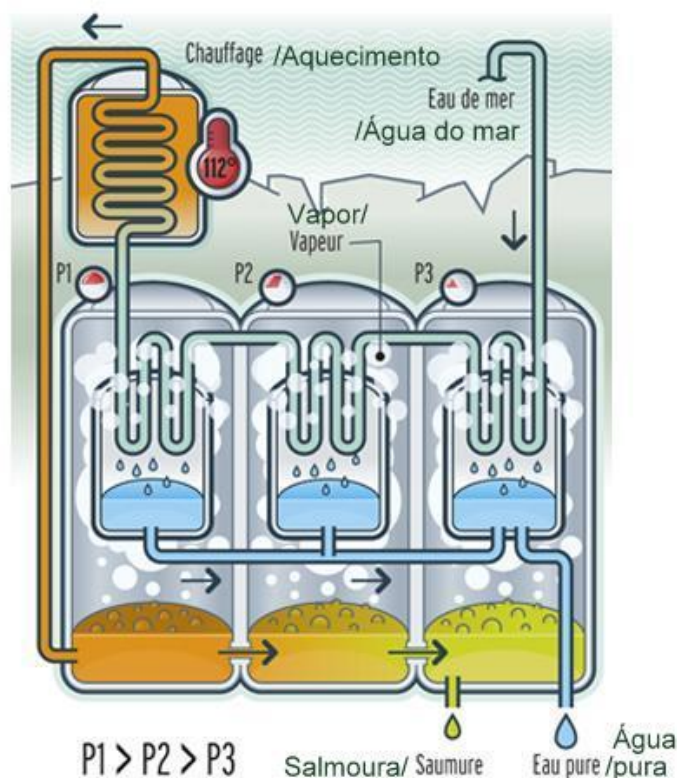


Figura 4.2. Esquema de funcionamento da destilação MSF.

(<http://www.alternatives.aveva.com>)

#### 4.2.3. Destilação Multi-Efeito (MED)

Na destilação Multi-efeito a evaporação processa-se de forma natural, aproveitando-se o calor libertado na condensação, para fornecer energia à etapa seguinte. Neste processo, a água segue de câmara em câmara (Figura 4.3) em série num ciclo ebulição-condensação, com cada vez mais baixa pressão, conseqüentemente com mais baixa temperatura de ebulição, e usando a energia da condensação do passo anterior para evaporar, e assim sucessivamente. Para a mesma capacidade de produção de uma MSF, conseguem-se melhores resultados em consumo energético.

A salmoura e a água destilada são recolhidas câmara a câmara até a última, onde são extraídas por bombas centrífugas. Geralmente o vapor de aquecimento do primeiro efeito é condensação de vapor de baixa pressão (aproximadamente 0,3 bar).

#### 4.2.4. Compressão de vapor

É um processo já muito pouco usado, no entanto importa referir que está geralmente associado a fontes de energia térmica, porque aproveita parte do vapor gerado na produção eléctrica, utilizando termocompressores, sendo provocado o aquecimento e evaporação da água salgada num processo semelhante à destilação Multi-Estágios MED.

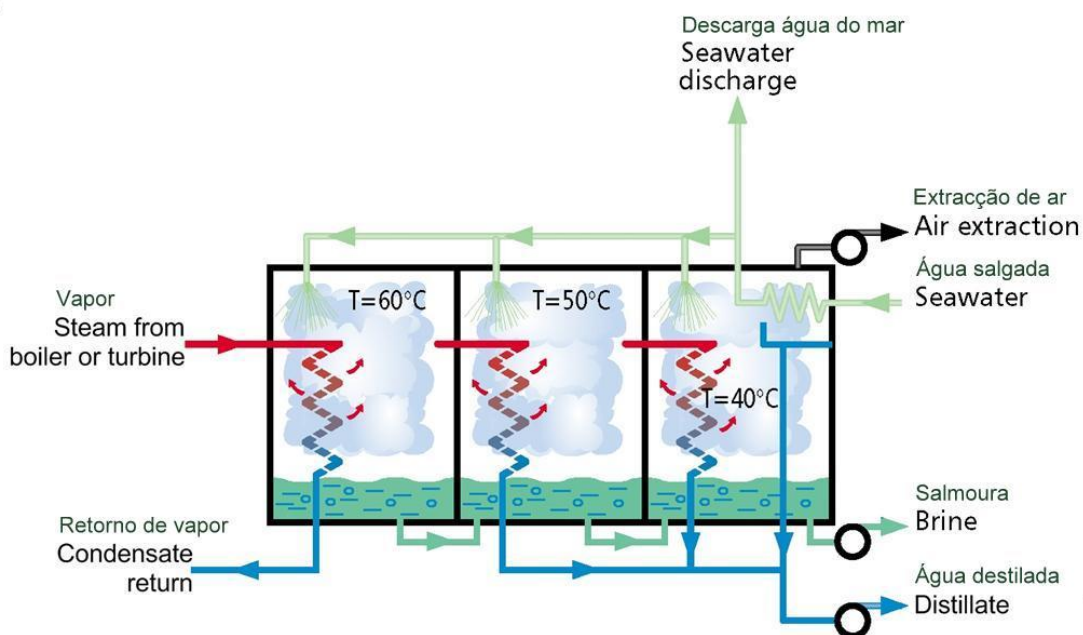


Figura 4.3. Esquema de funcionamento da destilação MED.

(<http://www.sidem-desalination.com>)

### 4.3. Métodos de membrana

#### 4.3.1. Considerações gerais

A aplicação de membranas semi-permeáveis, que têm a capacidade de deixar passar somente a água, para separar o sal, é um processo imitado da natureza. No entanto, foram necessários muitos anos de estudo para se conseguir membranas sintéticas, com aproximadamente 0,05 mm de espessura, com garantia de durabilidade, estabilidade do pH, capacidade para aguentar pressões até 80 bar com água do mar (Semiat, 2000), e reter o soluto até 99%, para águas salobras.

A qualidade final do produto depende muito do comportamento e propriedades das membranas, cujo resultado é influenciado pela temperatura da água captada e pelo encadeamento de tratamentos a que é submetida. Por razões de preço e menor consumo energético, as membranas de enrolamento em espiral sobrepuseram-se às de fibra oca, mesmo que algumas moléculas de dióxido de carbono, sílica, ácido bórico e sulfureto de hidrogénio possam passar pelas membranas e poluir o produto final. Para melhorar o rendimento das membranas, existem estudos de modo a aumentar a resistência ao cloro e a outros oxidantes, à incrustação por coloides, garantir bons níveis de produtividade com menor pressão e aumentar a rejeição de boro (Corral, 2004), sendo no entanto indispensável o pré-tratamento para garantir a durabilidade e a eficiência das mesmas.

É associado ao desenvolvimento das membranas que se potencia a osmose inversa (RO), sendo hoje o método mais usado na dessalinização e com fortes indicadores de se tornar monopolizador nos próximos anos, transformando outros métodos como a destilação térmica em métodos meramente residuais na purificação de água a partir de água salgada ou salobra. Admite-se que mais de 75% da água dessalinizada em 2015 será produzida por osmose inversa (Figura 4.4), consequência dos métodos de montagem das centrais dessalinizadoras, diminuição das necessidades energéticas e eficiência do processo (IDA, 2011). Com dados de 2006 da “The National Academies Press”, os processos de membrana e em especial a osmose inversa, representa 96% da capacidade de dessalinização nos Estados Unidos da América, e cerca de 56% no contexto global, embora os processos térmicos existentes no médio oriente, em particular o MSF, ainda tenham grande capacidade de produção.

#### **4.3.2. Osmose inversa**

No processo de osmose inversa, seja na dessalinização de água salobra ou água do mar, cujos índices de salinidade são muito diferentes e podem variar de região para região, a água salgada é forçada a passar através de uma membrana, retendo os sais, e cujo resultado do processo é a produção de água purificada, por um lado, e de salmoura por outro. Embora os resultados sejam melhores quando é usada água salobra (menor custo de produção e maior pureza da água recolhida para o fim a que se destina), as aplicações do sistema são principalmente em águas do mar porque geralmente, a captação de águas salobras, frequentemente efectuada junto á linha de costa, pode fragilizar ainda mais o equilíbrio da água doce dos aquíferos, já sobre-explorados, provocando a intrusão salina, cujo processo pode ser irreversível (Silva e Haie, 2000).

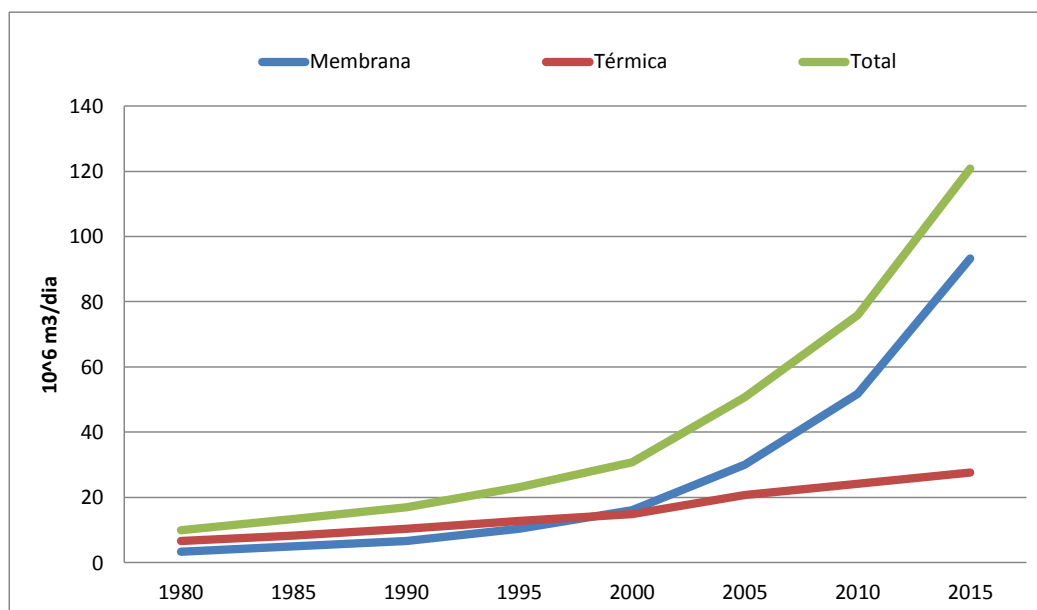


Figura 4.4. Evolução da capacidade de dessalinização mundial. (adaptado de IDA, 2011)

No processo de dessalinização, apenas cerca de 35 a 50 % da água captada é purificada, sendo o resto, geralmente devolvido ao mar com concentrações mais elevadas de salinidade. Também neste processo de dessalinização existe a preocupação crescente de reduzir os custos energéticos, que podem representar cerca de 43% do custo final de produção (ICEX, 2009), devido às pressões elevadas necessárias para percolar a água através da membrana. Nas Figuras 4.5 e 4.6 estão representados um esquema de funcionamento de uma central dessalinizadora por osmose inversa e um pormenor tipo de uma membrana em espiral. No entanto, a água salgada captada no oceano deve ser submetida a processos de pré tratamento e de pós-tratamento.

#### 4.4. Captação e pré-tratamento

Na hora de projectar uma central de dessalinização, a primeira decisão é definir o local de captação, seja no mar, ou na terra, por meio de poços. Esta última possibilidade tem a vantagem de poder minimizar o pré-tratamento a uma simples filtração por areia ou por cartuchos, ou à adição de pequenas doses de anti-incrustante. Como exemplo de captação em galerias subterrâneas, existe a da Central do Porto Santo na Madeira, a qual é localizada na praia sob a camada rochosa semi-impermeável de calcarenitos (IGA, 2011).

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## DESSALINIZAÇÃO

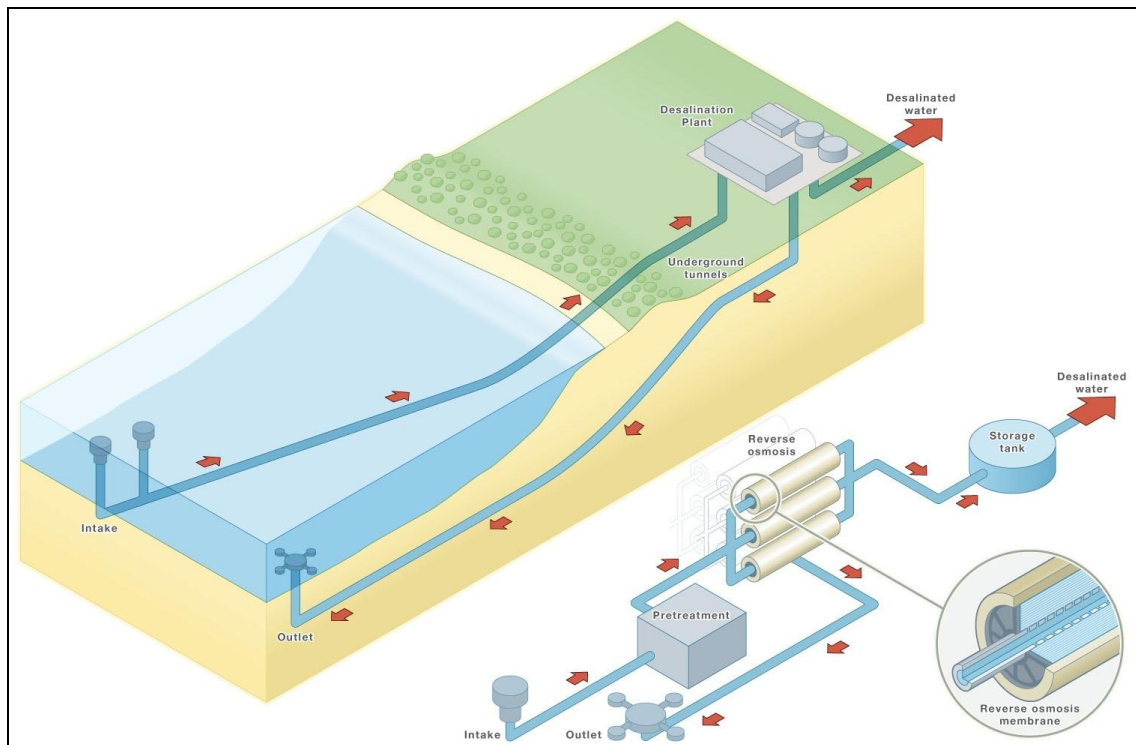


Figura 4.5. Esquema duma central dessalinizadora. (<http://www.melbournewater.com.au>)

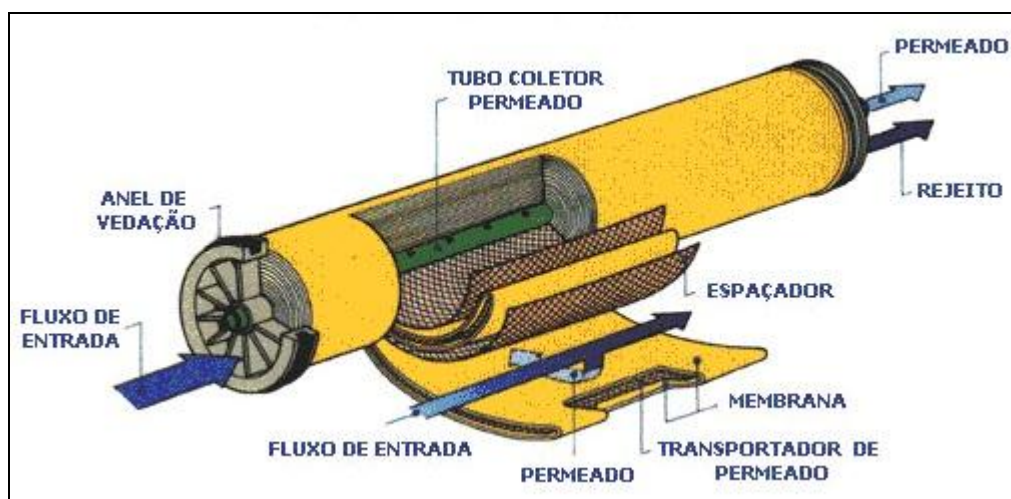


Figura 4.6. Pormenor da membrana em espiral e princípio de funcionamento.

(<http://www.waterworks.com.br/>)

O pré-tratamento depende da fonte de água e dos processos de dessalinização adoptados. A sua principal utilidade associa-se à protecção dos sistemas a jusante, protegendo-os de

diversas anomalias e melhorando significativamente o desempenho dos processos, em termos de quantidade e qualidade, e também de deterioração de equipamentos e tubagens. Sendo os processos térmicos menos sensíveis às características da fonte de água, é importante salvaguardar a remoção de sólidos em suspensão e minimizar a passagem de matéria orgânica e microrganismos para o processo de dessalinização, evitando a erosão dos equipamentos e tubagens e a criação de incrustações biológicas e a passagem de microrganismos para jusante do sistema. A passagem de microrganismos acontece porque as temperaturas de ebulição são mais baixas com a redução das pressões e o tempo de exposição também não é suficiente para as eliminar. Para os processos de destilação, as principais preocupações são (Watson et al, 2003a):

- Deposição de camadas de incrustantes nas superfícies dos tubos de condensação e vaporização;
- Corrosão de componentes do sistema por gases corrosivos, efeitos da temperatura de operação, pH ou pela presença de resíduos de cloro;
- Erosão provocada por sólidos em suspensão como areias.

Para os processos de membrana, as principais preocupações que podem ser minimizadas com o pré-tratamento são (Watson et al, 2003b):

- Incrustações nas membranas por minerais, deposição e actividade biológica, óxidos metálicos, areias, entre outros, reduzindo o fluxo permeável e aumentando a pressão de serviço;
- Obstrução de tubagens por sólidos em suspensão;
- Deterioração das membranas por motivos biológicos e químicos.

A vida e o desempenho dos sistemas e por associação, das membranas, dependem muito das características físicas e químicas do produto captado. O pré tratamento e a verificação dos pontos anteriormente referidos, são em geral extremamente importantes, pois influenciam decisivamente as características de operacionalidade e permitem eliminar ou identificar eventuais fragilidades potenciadoras de problemas e que condicionam a eficiência dos sistemas.

#### **4.5. Pós-tratamento**

Após a operação de dessalinização, principalmente por osmose inversa, a técnica mais desenvolvida e com maior incrementação global, a água apresenta défice de minerais, pelo que, principalmente no caso de água de abastecimento público, deve ser sujeita a remineralização, correcção do pH, desinfecção e inibidores de corrosão.

A remineralização é essencial por questões de saúde pública e consegue-se adicionando principalmente cálcio e magnésio, conseguindo-se com este processo reduzir significativamente o risco de corrosão e em simultâneo dotar a água de minerais essenciais à prevenção de doenças coronárias e vascular-cerebrais (WHO, 2007). Tal como outras fontes de água, também a água do mar pode conter microrganismos patogénicos cujo processo de osmose nem sempre consegue eliminar, daí a necessidade de se proceder à desinfecção. O processo mais usado é a cloração, embora também a radiação UV seja uma alternativa.

#### **4.6. Impactos ambientais**

Não sendo posta em causa a necessidade e utilidade de recorrer à dessalinização em várias regiões do planeta, para colmatar a falta de água, é importante salvaguardar as questões ambientais que devem ser analisadas caso a caso, em função dos locais de implantação das centrais dessalinizadoras e das condições de vizinhança. As preocupações mais comuns, são o acréscimo de poluição na produção de energia necessária ao funcionamento das bombas de pressão e aquecimento (no caso dos processos térmicos), geralmente associado ao aumento de gases com efeito de estufa, e a deposição da salmoura rejeitada. Daí, a necessidade de estudar o impacto na flora e fauna devido ao aumento da salinidade nas zonas de descarga, em caso de descarga marinha e garantir a estanquidade dos depósitos de salmoura, se o processo for em terra, evitando-se a salinização dos solos que os poderá tornar estéreis. Outra questão que merece acompanhamento e preocupação são os despojos dos processos de pré-tratamento, especialmente quando da utilização de produtos químicos e em particular na rejeição de cloro após a desinfecção.

#### **4.7. Custos de produção**

A dessalinização não tem expressão em Portugal e, à excepção de alguns investimentos recentes no Algarve, em hotéis, para salvaguarda em períodos de verão, em que se regista menor disponibilidade e maior consumo, a única central dessalinizadora com alguma relevância, por motivos de escassez de água para abastecimento público é na ilha do Porto Santo, com valores de custo de produção de 0.90€/m<sup>3</sup> (JN, 22-08-2005). Este valor é muito elevado, tendo em consideração os valores anteriormente apresentados para captações superficiais ou subterrâneas. Actualmente a nível internacional, os custos de dessalinização estão entre 0,40€ e 0,50€ por m<sup>3</sup> (Ambienteonline, 2007).

O efeito de escala na produção de água dessalinizada, o custo de energia, a salinidade da água bruta, a sua temperatura e características físicas e químicas, os processos usados, e os respectivos custos de investimento, são determinantes nos custos de produção. Como exemplo, apresentam-se no Quadro 4.2 e Figura 4.7 (elaborada com base nos dados do



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## DESSALINIZAÇÃO

quadro), alguns valores de referência para algumas centrais dessalinizadoras localizadas em diferentes países do mundo, de acordo com os dados de State of Israel (Abraham Tenn, 2010).

Quadro 4.2. Custos de dessalinização em alguns locais e países espalhados pelo mundo.

Local	Dhekelia	Larnaca	Ashkelon	Point Lisas	Beni Saf	Hamma	Palmachim	Skikda	Perth	Tampa Bay, FL	Hadera	Sorek	Espanha
Pais	Chipre	Chipre	Israel	Trinidad	Argélia	Argélia	Israel	Argélia	Australia	EUA	Israel	Israel	Espanha
\$/m <sup>3</sup>	\$1,18	\$0,75	\$0,52	\$0,71	\$0,70	\$0,82	\$0,57	\$0,74	\$0,75	\$0,67	\$0,60	\$0,54	
€/m <sup>3</sup>	0,87 €	0,56 €	0,39 €	0,53 €	0,52 €	0,61 €	0,42 €	0,55 €	0,56 €	0,50 €	0,44 €	0,40 €	0,40 €
Mm <sup>3</sup> /ano	13	18	108	39	66	66	30	33	46	31	127	150	
10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /dia	35,6	49,3	295,9	106,8	180,8	180,8	82,2	90,4	126,0	84,9	347,9	411,0	

02-12-2011: 1,00€ = 1,35\$

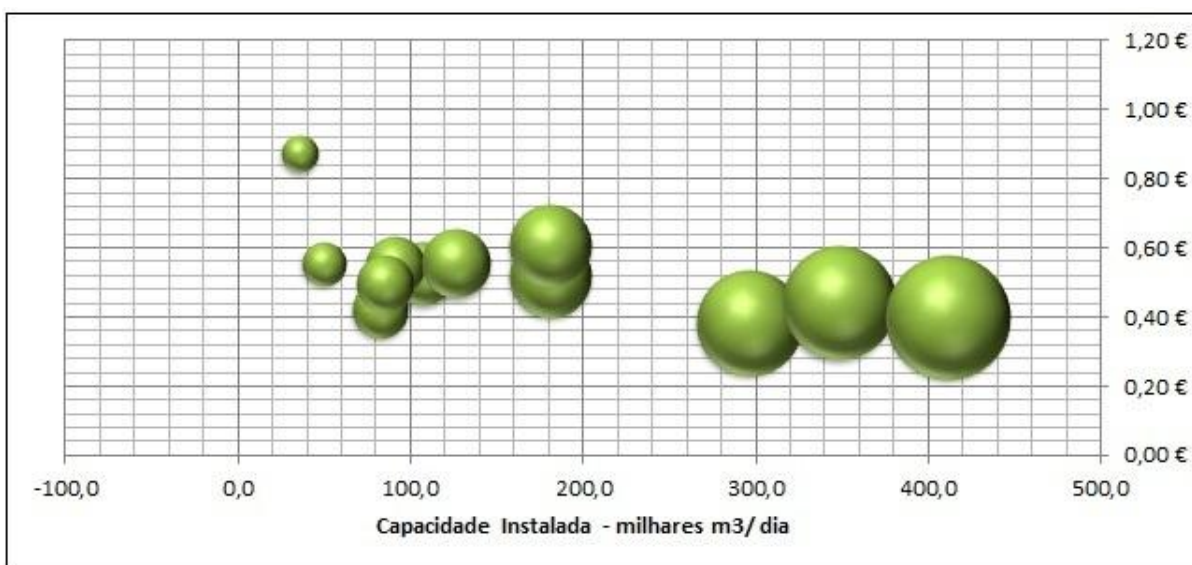


Figura 4.7. Custos de dessalinização em alguns locais e países espalhados pelo mundo. (Quadro 4.2)

Da análise do gráfico, deduz-se alguma interacção entre a capacidade das centrais de dessalinização e os custos finais de produção. Os custos unitários aparentam diminuir com o aumento da capacidade das centrais, o que poderá ser explicado pelas economias de escala.

## 5. Reutilização de Águas Residuais

### 5.1. Enquadramento

A reutilização de águas residuais tratadas representa uma fonte importante de água em muitos países, principalmente onde os recursos naturais são escassos, por falta de precipitação, de escassez de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, ou porque os recursos existentes estão irremediavelmente poluídos. É principalmente nestes casos de escassez hídrica que a reutilização é uma solução extremamente interessante em termos económicos e ambientais, embora os riscos sanitários sejam uma preocupação, devido aos agentes patogénicos existentes nas águas residuais e cujo controle é indispensável. Na Figura 5.1 pode-se ver a taxa de reutilização em alguns países, em que a escassez ou o stress hídrico potenciou o seu aproveitamento.

De salientar que em Israel 13% das disponibilidades de água dependem do seu reaproveitamento e em muitos outros países do médio oriente e golfo pérsico assiste-se a taxas próximas deste valor, como Qatar (10%), Jordânia e Kuwait (9%) ou mesmo Gaza com 8%.

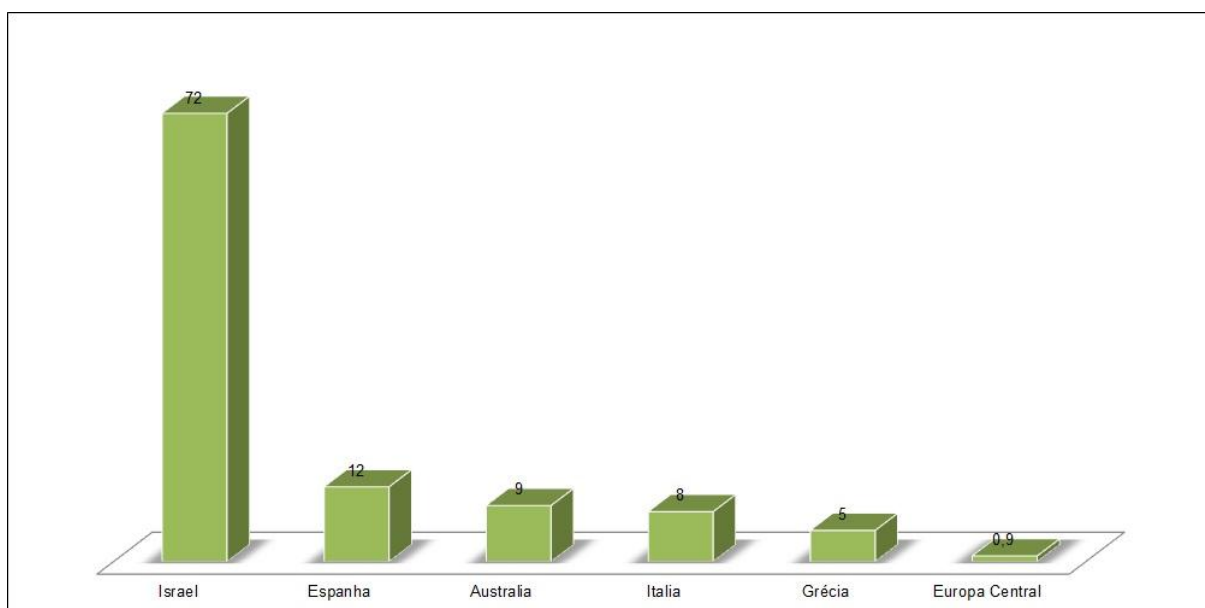


Figura 5.1. Taxa de reutilização (%) de águas residuais em alguns países. (MEKOROT, 2006)

A reutilização de águas residuais tratadas tem benefícios e riscos associados que podem ser diferentes conforme as utilizações a que se destina. É essa análise que se pretende fazer neste capítulo, fazendo o sumário dos benefícios e riscos nas diversas vertentes e os condicionalismos das diversas aplicações.

## **5.2. Benefícios e riscos**

### **5.2.1. Económicos**

O aspecto económico da reutilização está mais associado à disponibilidade de água e às necessidades, cuja análise deve ser ponderada porque a importação pode ser muito mais cara que o seu reaproveitamento, no entanto outros aspectos são muito importantes. Como exemplos de benefícios temos:

- A disponibilidade de água para agricultura, regas e industria em quantidade consistente, independente de factores climáticos, libertando as águas naturais para outros fins como o consumo humano;
- Melhorar os espaços urbanos como jardins, lagos e lavagens, tornando os espaços sociais mais aprazíveis, potenciando o turismo e conseqüentemente o emprego;
- Sendo ricas em nutrientes como fósforo e azoto, a utilização em regas (agricultura e jardins) diminui a utilização de fertilizantes químicos e potencia o aumento na produção de produtos;
- O custo de afinação do tratamento de águas residuais é mais barato que outras fontes de água;
- Os custos de procura de novas fontes, construção e equipamentos para novas explorações, ou importação podem ser reduzidos sempre que reciclamos a água, porque a procura de novas fontes será desnecessária.

No entanto, a reutilização de águas também acarreta riscos, dos quais se destacam:

- O impacto negativo na opinião publica da sua reutilização, reduzindo a procura;
- Quando os preços não cobrem os custos seja no processo de produção, ou mesmo devido ao transporte porque muitas vezes o destino de aplicação é longe das ETAR's e isso implica o transporte a longas distâncias, com custos de investimento e bombagem elevados;
- A necessidade de construção de reservatórios para armazenamento, porque a procura é sempre mais elevada nos períodos mais quentes;
- Os custos associados ao risco de epidemias e deterioração da saúde publica, ou poluição ambiental decorrente de tratamentos ineficazes.

### **5.2.2. Sociais e de saúde pública**

Quando a escassez de recursos é elevada, a reutilização de águas residuais pode ser um meio de promover o desenvolvimento de culturas e promover o emprego, mesmo em zonas carenciadas de recursos financeiros.

Como benefícios destaca-se a promoção de técnicas de reaproveitamento e destino final às águas. A sua reutilização em agricultura promove o emprego com as vantagens sociais inerentes, e consequentemente a disponibilidade de bens de consumo para as populações, beneficiando o seu bem-estar e saúde. Também a sua reutilização, para rega paisagística em espaços verdes e desportivos, permite às populações espaços de lazer mais aprazíveis e locais de convivência, e pode promover o desenvolvimento da actividade turística.

Mas também deve-se ter em conta alguns inconvenientes principalmente na aceitação pública e ainda a potencial ameaça à saúde pública, principalmente se o tratamento é inadequado por falta de directrizes legais para o tratamento ou por ineficiência dos sistemas de tratamento, projectando uma imagem muito negativa da sua reutilização, aumentando ainda mais a dificuldade da sua aceitação. Associado á imagem potencialmente negativa da sua utilização estão os riscos sanitários de infecção de patogénicos. O Quadro 5.1 resume os principais patogénicos encontrados em águas residuais e os tempos médios de sobrevivência fora do corpo dos hospedeiros como o homem, embora a quantidade/concentração desses patogénicos também influencie o potencial de infecção. De modo a minimizar estes riscos, é importante a adequada desinfecção, e o conhecimento destes riscos principalmente pelos trabalhadores que manuseiam as águas.

### **5.2.3. Ambientais**

Do ponto de vista ambiental, a reutilização de águas residuais tratadas, ou seja, a sua reciclagem é sem dúvida onde se notam as maiores vantagens. Se as águas são retiradas do meio ambiente limpas, a descarga de efluentes residuais também o devem ser. Para isso muito contribui a sua reutilização porque isso implica tratamentos que em situações normais de descarga não seriam feitos. É extensa a lista de vantagens ambientais, das quais se destacam:

- Conservação e gestão mais racional dos recursos de água doce disponíveis;
- Permite que os recursos naturais sejam menos explorados, minimizando a sobreexploração e a exploração de novas fontes e eventualmente o restabelecimento de fluxos há muito perdidos, com vantagens para o meio ambiente, implicando a redução de consumo de energia e consequente emissão de gases com efeito de estufa;

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

- A não descarga de nutrientes em cursos de água e ambientes marinhos reduz os riscos de eutrofização e consequentemente a salvaguarda da fauna aquática;
- Sendo a indústria um consumidor abundante de água em alguns países, a disponibilidade de águas residuais pode minimizar o impacto da procura em ambientes naturais, tendo em conta que geralmente os níveis de tratamento para a sua utilização são elevados, só há vantagens no seu reaproveitamento, conseguindo-se águas mais limpas;
- A reutilização obriga geralmente a processos de tratamento mais exigentes que aqueles que são exigidos para descarga em águas superficiais, o que só por si é uma vantagem;
- Reduz a utilização de fertilizantes químicos;
- A reutilização das lamas provenientes dos processos de tratamento pode ter um valor importante quer na agricultura, e a sua digestão anaeróbia poderá ser aproveitada na produção de energia;
- Permite a criação, recriação de espelhos de água, seja em espaços fechados como lagos ou fontes, mas também no reforço dos caudais de linhas de água e mesmo na recarga de aquíferos, com enormes vantagens ambientais e não só.

Quadro 5.1. Tempo de sobrevivência de patogénicos em diversos meios.  
(adaptado de Monte e Albuquerque, 2010)

Patogénico	Tempo de Sobrevivência (dia) em:		
	Águas Residuais	Plantas	Solo
<b>Vírus</b>	<i>a</i>		
Enterovirus	<i>b</i> <120, mas geralmente <50	<600, mas geralmente <15	<100, mas geralmente <20
<b>Bactérias</b>			
Coliformes fecais	<i>a</i> <60, mas geralmente <30	<30, mas geralmente <15	<70, mas geralmente <20
Salmonella spp	<i>a</i> <60, mas geralmente <30	<30, mas geralmente <15	<70, mas geralmente <20
Shigella spp	<i>a</i> <30, mas geralmente <10	<10, mas geralmente <5	
Vibrio cholerae	<30, mas geralmente <10	<5, mas geralmente <2	<20, mas geralmente <10
<b>Protozoários</b>			
Cistos de E. Histolytica	<30, mas geralmente <15	<10, mas geralmente <2	<20, mas geralmente <10
<b>Helminthas</b>			
Ovos	Vários meses	<60, mas geralmente <30	Vários meses
A. Lumbricoides			

*a* O tempo de sobrevivência dos vírus em água salgada é menor e o das bactérias é ainda menor que na água doce  
*b* Inclui os poliovírus, ecovírus e coxaquievírus

Os riscos ambientais estão principalmente associados a elementos poluentes com origens industriais, cujo tratamento nem sempre é eficaz por varias razoes, ou por incapacidade da estação de tratamento, desconhecimento ou falta de legislação. Também a existência de produtos com origem farmacêutica pode ter impacto negativo nos ambientes aquáticos ou na

saúde pública exposta directa ou indirectamente aos efluentes tratados. Por último convém referir o potencial negativo das lamas provenientes dos tratamentos ou os resíduos da dessalinização de águas residuais quando não são devidamente tratadas.

### **5.3. Aplicações de reutilização**

#### **5.3.1. Reutilização em rega agrícola**

Sendo o sector com maiores volumes de água requeridos, em especial nos países onde a escassez é maior, é porventura o que apresenta maior potencial para absorver e consumir o produto “águas residuais tratadas”, com enormes vantagens ambientais e económicas. Os riscos associados são especialmente sanitários, porque expõem trabalhadores e eventualmente os consumidores a microrganismos, caso a desinfecção seja ineficiente ou inexistente, e a salinidade, com potenciais implicações no solo e nas plantas. Nos parágrafos seguintes, analisam-se essas características, tendo em atenção os benefícios e riscos.

Para ter uma noção da relação entre as concentrações salinas existentes nas águas de rega e as características dos solos e das culturas que as suportam, apresenta-se no Quadro 5.2, as directrizes para interpretação das características e a sua aplicabilidade, baseadas em Almeida (2010).

A água aplicada em rega serve para satisfazer as necessidades hídricas das plantas e potenciar a absorção de nutrientes pelas mesmas. Para a utilização de águas residuais tratadas na rega deve-se ter em atenção aspectos fundamentais como o tipo de cultura, o método de rega e objectivamente o nível de tratamento, estando estes aspectos interligados. A água residual tratada contém nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, mas também pode transportar agentes patogénicos nocivos às plantas e ao homem – principalmente quando ingeridos crus, e ainda poluentes químicos ou sais prejudiciais ao solo ou a águas subterrâneas quando infiltradas.

O teor em sais dissolvidos é muito importante na análise dos impactos nas plantas e solos, e, de um modo geral pode ser medido com base na condutividade eléctrica, embora seja importante o conhecimento das concentrações de sódio, cálcio e magnésio, porque para a mesma condutividade, pode haver riscos de sodicidade muito diferentes (Monte e Albuquerque, 2008). A salinidade influencia a capacidade de absorção de água pela planta, podendo alterar a zona de captação de água através da raiz, porque a acumulação de sais à superfície e arrastamento para zonas inferiores da raiz, implica a necessidade de maior esforço na absorção de água, perdendo energia para o seu crescimento.

Quadro 5.2. Directrizes para interpretação da qualidade das águas para rega. (Almeida, 2010)

Problema Potencial	Unidade	Grau de Restrição de Uso			
		Nenhum	Ligeiro a Moderado	Severo	
<b>Salinidade</b> (afecta a disponibilidade de água pela planta)					
	CE	dS/m	< 0,7	0,7-3,0	> 3,0
	SDT	mg/L	< 450	450-2 000	> 2 000
<b>Infiltração</b> (afecta a taxa de infiltração da água no solo. Avalia-se pela consideração conjunta da CE e da RNA)(1)					
	RNA = 0-3 e	CE =	> 0,7	0,7-0,2	< 0,2
	RNA = 3-6 e	CE =	> 1,2	1,2-0,3	< 0,3
	RNA = 6-12 e	CE =	> 1,9	1,9-0,5	< 0,5
	RNA = 12-20 e	CE =	> 2,9	2,9-1,3	< 1,3
	RNA = 20-40 e	CE =	> 5,0	5,0-2,9	> 2,9
<b>Toxicidade a iões específicos</b>					
<b>Sódio</b>					
	*rega gravítica RNA		< 3	3 – 9	> 9
	*rega por aspersão Na+	me/L	< 3	3 – 9	
<b>Cloreto</b>					
	*rega gravítica Cl-	me/L	< 4	4 – 10	> 10
	*rega por aspersão Cl-	me/L	< 3	> 3	
<b>Boro B3+</b>					
		mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
<b>Efeitos diversos</b> (afecta culturas sensíveis)					
	Azoto(2) N-NO3-	mg/L N	< 5	5-30	> 30
	Hidrogenocarbonatos(3) HCO3-	me/L	< 1,5	1,5-8,5	> 8,5
	pH		Intervalo	normal	6,5-8,4
1) Para uma determinada RNA a taxa de infiltração aumenta com a salinidade da água.					
2) No caso de águas residuais deve também considerar-se o N-NH4 e o N-Org.					
3) Só em rega por aspersão.					

A gestão e conhecimento dos teores de salinidade são muito importantes, não só para as plantas, cuja capacidade de adaptação e tolerância é variável, como para a interpretação e conhecimento do comportamento dos solos à sua presença. É importante existirem condições de drenagem do solo de modo a permitir a lavagem dos sais, por precipitação ou regas alternadas, principalmente no caso da existência de condições áridas que favorecem a acumulação de sais à superfície por evaporação rápida da água. Também o posicionamento do

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

nível freático pode promover a salinidade do solo ou dos próprios lençóis freáticos, sendo favorável a utilização de valas ou poços de drenagem quando o nível freático for muito elevado.

Os nutrientes contidos em águas residuais podem subdividir-se em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são o azoto, o fósforo e o potássio, sobre os quais se apresenta uma breve descrição quanto à sua função junto das plantas e do solo. Sendo dos parâmetros mais importantes na análise da qualidade da água para descarga em meios sensíveis, outros parâmetros também deverão ser analisados na avaliação de reutilização, tal como resumido no Quadro 5.3.

Quadro 5.3. Relação entre poluentes das águas residuais e efeitos no sistema solo-planta.  
(Monte e Albuquerque, 2010)

Característica	Parâmetro de Avaliação	Efeitos nas plantas e solo
Salinidade/Sais inorgânicos dissolvidos.	SDT. Condutividade eléctrica. Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B).	A elevada salinidade prejudica o bom desenvolvimento de muitas plantas; alguns iões podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl); o Na pode induzir problemas de permeabilidade no solo.
Sólidos em suspensão.	SST (SSF+SSV).	Concentrações elevadas de SST podem provocar entupimentos nos equipamentos de rega.
Matéria orgânica biodegradável.	CBO, CQO.	Em efluentes tratados o teor de matéria orgânica em geral não causa problemas.
Compostos orgânicos refractários.	Compostos específicos (fenóis, pesticidas, hidrocarbonetos halogenados).	Resistem aos processos convencionais de tratamento. Alguns são tóxicos ⇒ a sua presença pode ser limitativa da utilização do efluente para rega.
Nutrientes	N (N-org + N-NH <sub>4</sub> + N-NO <sub>2</sub> + N-NO <sub>3</sub> ) P, K.	São nutrientes essenciais para o crescimento das plantas ⇒ a sua presença normalmente valoriza a água de rega. Quando aplicados no solo em quantidades excessivas podem induzir a poluição das águas subterrâneas.
Actividade hidrogeniónica.	pH.	O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.
Metais pesados.	Elementos específicos (Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn).	Alguns acumulam-se no solo ou nas plantas e são tóxicos para as plantas e animais ⇒ podem constituir factor limitante à utilização de águas residuais.
Cloro residual.	Cl livre. Cl combinado.	Teores excessivos de cloro livre podem causar queimaduras nas folhas. O cloro combinado não causa problemas.
Microrganismos patogénicos.	Coliformes fecais. Helmintas. Organismos indicadores.	Transmissão de doenças

O azoto é essencial, principalmente na fase de crescimento das plantas, mas em situações de excesso pode retardar a produção e prejudicá-la quanto à qualidade e quantidade. O seu excesso também pode ser inconveniente se durante a infiltração atingir os lençóis freáticos e a água for usada para fornecimento potável. Para minimizar os efeitos negativos do excesso de



## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

azoto é frequentemente sugerida a rotatividade de culturas e/ou o uso de culturas mais resistentes ao excesso deste nutriente.

O fósforo é o segundo nutriente mais importante no desenvolvimento das plantas, sem os inconvenientes do azoto, porque as plantas usam só o necessário, principalmente no desenvolvimento do sistema radicular e o seu excesso não representa riscos nem para a planta, solo ou lençóis freáticos, devido à sua fraca mobilidade no solo.

O potássio tem um papel importante no controlo das perdas de água pelas plantas e na resistência a pragas e encontra-se em bastante quantidade em águas residuais. Também não apresenta riscos quando aplicado em excesso.

Os micronutrientes de que destacam o ferro, manganês, zinco, cobre, alumínio e boro, entre outros, são essenciais às plantas. No entanto, a sua dosagem ou concentração é muito importante porque, para cada cultura, o intervalo de necessidades é mínimo e facilmente se passa duma situação de défice para excesso, com problemas de toxicidade.

As preocupações com a saúde pública são o aspecto mais importante na análise de um processo de reutilização de águas residuais tratadas, porque a existência de microrganismos patogénicos pode provocar infecções e eventualmente problemas de contágio entre pessoas e animais.

Para minimizar o risco de transmissão deve-se proceder à desinfecção, e proceder a cuidados acrescidos durante a aplicação da rega e contacto com os produtos regados. Em função do nível de tratamento, pode ser desaconselhada a rega de produtos em contacto com o solo e a rega por aspersão implica o risco de aerossóis e maior contacto com pessoas, sabendo que alguns microrganismos se mantêm presentes nas águas residuais tratadas. A possibilidade de contacto humano com vestígios de águas residuais com potencial de contágio pode ser enorme nas seguintes situações:

- Trabalhadores rurais durante o processo de rega, ou em contacto com plantas regadas;
- Plantas consumidas cruas depois de regadas com águas residuais;
- A criação de aerossóis em processos de rega por aspersão pode atingir qualquer pessoa na área de aplicação por inalação;
- Contacto de terceiros, nomeadamente familiares, com roupas e alfaias dos trabalhadores;
- Consumo de águas afectadas por infiltração de águas contaminadas.

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Embora os riscos existam, também existem muitas maneiras de os minimizar, começando por um controlo do processo de desinfecção mais eficiente e o conhecimento quanto ao potencial de risco dos agentes patogénicos presentes, cujas características são variáveis relativamente à capacidade de provocar infecções, bem como a sua concentração para o efeito e resistência a meios diferentes daqueles onde se podem reproduzir e facultar o contágio.

### **5.3.2. Reutilização em rega paisagística**

As características, vantagens e preocupações com a rega paisagística com águas residuais tratadas são semelhantes às da rega agrícola, embora seja maior o número de pessoas que contactam com os espaços e plantas regados, principalmente se se tratar de espaços de lazer, tais como jardins públicos ou equipamentos desportivos.

Importa referir que sendo a rega paisagística uma característica mais urbana que rural, uma das preocupações que apresenta risco elevado é a existência de condutas de água de rega contíguas com condutas de água potável e o risco de cruzamento de canalizações e ligações impróprias representar um problema sério.

### **5.3.3. Reutilização em indústria**

As características requeridas da água reciclada para fins industriais são muito variáveis e dependem muito dos processos industriais e do fim a que se destinam. Consoante a indústria, a água pode ter inúmeras características, mas problemas de corrosão, incrustação e formação de biofilmes são comuns a todas, daí a necessidade de controlar características como a concentração de sólidos dissolvidos ou suspensos, como sais, o pH e a temperatura.

### **5.3.4. Reutilização em recarga de aquíferos**

Os principais objectivos da recarga de água no solo são o armazenamento de água para posterior utilização, a utilização do solo como método de tratamento complementar de águas residuais tratadas, o de impedir ou minimizar o rebaixamento rápido de níveis freáticos, principalmente em zonas áridas ou de escassez de recursos hídricos, e ainda a protecção de aquíferos sob risco de intrusão salina. Independentemente do método de recarga, que pode ser efectuada directa ou indirectamente no aquífero (Quadro 5.4), existem algumas preocupações que se devem ter em conta embora o solo seja um bom filtrante.

As recargas directas embora mais onerosas são úteis na rápida estabilização do nível freático, devido à necessidade de afinação do efluente. Nas recargas indirectas, por furo ou por bacias de infiltração, o solo faz o papel de filtração, mas com outras preocupações porque é

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

necessário conhecer bem as características do solo, a sua capacidade de filtração com base nas camadas de solo sobre o aquífero, conhecer a evolução da cota do nível freático no espaço temporal, e principalmente, o comportamento microbiológico do solo e a sua resistência e potencial de risco. Os aquíferos são fontes de água doce muito importantes e à sua gestão de quantidade não se pode descuidar as características de qualidade, poluindo-os.

Quadro 5.4. Características de recargas de aquíferos. (Monte, 2010)

Parâmetro	Recarga Directa	Recarga Indirecta com infiltração	Recarga Indirecta por furos de Injecção
Tipo de aquífero	Confinado e livre	Livre	Livre
Ponto de injecção	Zona saturada	Zona não saturada	Zona não saturada
Tratamento a montante	Sec., terciário e de afinação	Secundário	Secundário
Taxa de Aplicação	2000 - 6000 m <sup>3</sup> /furo.dia	1000 - 20000 m <sup>3</sup> /ha.dia	1000 - 3000 m <sup>3</sup> /furo.dia
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 vegetação morta	Limpeza e desinfecção

### 5.3.5. Reutilização em usos ambientais e recreativos

Neste tipo de reutilização, destacam-se principalmente o reforço de caudais de cursos de água, geralmente afectados por períodos secos como no Verão, a conservação e manutenção de habitats húmidos e estuários, lagos ou lagoas naturais e artificiais, com potencial biológico e recreativo.

As características dos efluentes de recarga destes meios devem satisfazer, de uma maneira geral, as normas de descarga em águas superficiais ou costeiras, tendo em atenção a sensibilidade das mesmas. Para zonas mais específicas, de interesse biológico, os padrões de qualidade das águas poderão ser alterados, de modo a garantir as concentrações admissíveis à sobrevivência das espécies.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Quando o fim é recreativo e existe o risco de exposição humana a microrganismos ou outros poluentes, o Decreto-Lei n. 236/98 de 1 de Agosto estipula as características de descarga e os padrões mínimos para a sua utilização.

### **5.3.6. Reutilização em usos urbanos não potáveis**

São inúmeras as possíveis utilizações de água residual tratada neste segmento, de que se destacam:

- combate a incêndios;
- descarga de autoclismos;
- construção pesada e lavagem de espaços anexos e máquinas;
- varrimento de colectores;
- lavagem de passeios e estradas;
- produção de materiais de construção;
- sistemas de refrigeração;
- fusão de neve;
- lavagem de meios de transporte como carros, comboios ou aviões.

De um modo geral, as maiores condicionantes são o transporte da água reciclada até aos meios urbanos, salvo a proximidade das estações de tratamento de novos empreendimentos, embora se mantenha o risco de redes paralelas de águas potáveis e residuais tratadas com os eventuais perigos de contaminação já referidos na secção 5.3.2, bem como o armazenamento e a salinidade em algumas utilizações. Num plano mais social, a turvidez e odores são aspectos a ter em conta nestas aplicações.

## 6. Exemplos de Reutilização

Existem diversos exemplos de reutilização de águas residuais em todo o mundo. De seguida descrevem-se alguns exemplos com finalidades tão diferentes, como a recarga de aquíferos, a rega agrícola e de campos de golfe, e ainda a reutilização em equipamentos desportivos.

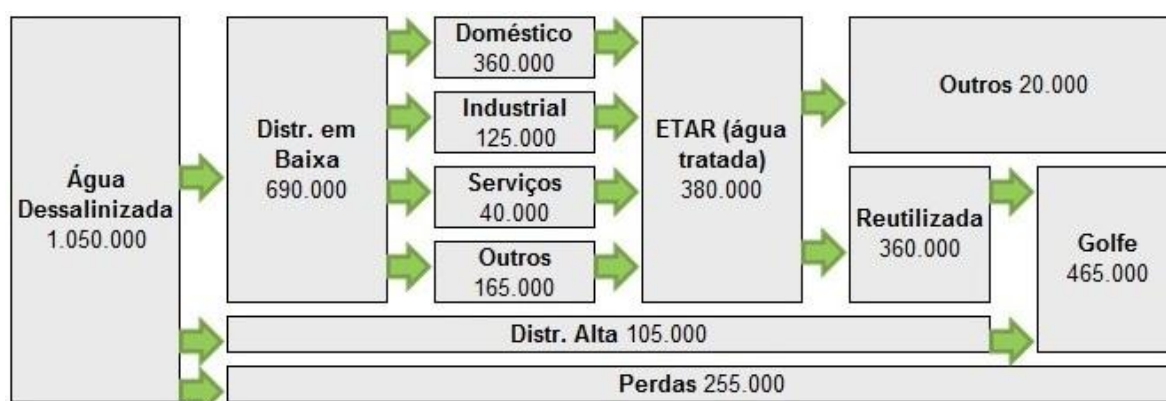
### 6.1. Porto Santo (Portugal) – Rega agrícola e campo de golfe

A ilha do Porto Santo, no arquipélago da Madeira, é caso praticamente único em Portugal, com reservas insignificantes, condições climáticas desfavoráveis e, principalmente, com características geomorfológicas que impossibilitam a reserva de água subterrânea por infiltração e mesmo a potabilidade da água, com elevado teor de sais (Duarte, 1998).

A ilha, com cerca de 4500 habitantes, baseia o seu rendimento no turismo e apresenta requisitos de volumes de água para diferentes utilizações com importantes variações sazonais. Por isso, o período de maiores necessidades hídricas é compensado com o maior consumo e com maiores volumes de água reciclada produzidos. Sendo um espaço limitado, sem possibilidade de importação de água, a totalidade do abastecimento de água potável é assegurada por uma central dessalinizadora que garantiu uma produção anual de 1.050.000 m<sup>3</sup>/ano em 2010. Com tanta escassez de água, a reutilização de águas residuais passou a ser uma necessidade, principalmente após a abertura de um campo de golfe, que consumiu em 2010 cerca de 96% do efluente da ETAR, ou seja, 362.000 m<sup>3</sup> dos 380.000 m<sup>3</sup> tratados (IGA, 2010). A ETAR de Porto Santo efectua tratamento biológico que cumpre as normas de descarga em meios sensíveis, sendo dotada de filtração e desinfecção.

Para garantir a disponibilidade de água ao campo de golfe, que recebeu cerca de 465.000 m<sup>3</sup> em 2010, a água residual tratada é canalizada directamente para o campo de Golfe, ou em caso de excesso de efluente, é armazenada em reservatórios, para satisfazer as necessidades em períodos de seca. O abastecimento dos volumes deficitários, que foram de cerca de 105.000 m<sup>3</sup> em 2010, i.e., 10% da produção total da central e 23% das necessidades de rega foi efectuado directamente com água dessalinizada. No Quadro 6.1 é apresentado o balanço hídrico dos sistemas de abastecimento, drenagem e reutilização de águas residuais, relativos ao ano de 2010.

Quadro 6.1. A reutilização em Porto Santo -valores em m<sup>3</sup> relativos a 2010.  
(IGA, 2010; IGA, 2009; INSAAR, 2010; BERARDINO, 2010)



## 6.2. Orange City, Califórnia (EUA) – Recarga de aquíferos

No sul da Califórnia, em Orange City, a cerca de 40,0 km de Los Angeles, junto à costa do pacífico, numa área com graves problemas de disponibilidade de água doce e com sobreexploração de aquíferos, a solução encontrada foi utilizar a água residual tratada para recarga dos aquíferos subterrâneos, por leitos de infiltração e por injeção junto à costa, criando uma barreira anti-intrusão salina.

Pelos dados disponíveis, o Groundwater Replenishment System (GWRS) recolhe e trata cerca de 265.000 m<sup>3</sup>/dia, dos quais metade serve para criar barreira à água salgada do Pacífico, por injeção directa, evitando a salinização do aquífero responsável por 616.000m<sup>3</sup>/dia de abastecimento à cidade, sendo a outra metade utilizada para recarga subterrânea por leitos de infiltração.

Para garantir a qualidade necessária à injeção directa no aquífero, o efluente secundário é submetido a microfiltração onde são retidos sólidos em suspensão, bactérias e alguns vírus. No passo seguinte, a água passa por um processo de osmose inversa, removendo sais, químicos dissolvidos e outros elementos microbiológicos, e ainda por um processo de desinfecção através de radiação UV, e adição de peróxido de hidrogénio, garantindo a qualidade bacteriológica necessária à sua reutilização.

Os custos de operação e manutenção do processo de purificação da água, após o tratamento secundário, são cerca de 0,26 €/m<sup>3</sup>, com características de quase potabilidade.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## EXEMPLOS DE REUTILIZAÇÃO

### 6.3. Jogos Olímpicos de Londres, 2012 – Usos ambientais e recreativos

De acordo com o site oficial dos jogos olímpicos de 2012, <http://www.london2012.com>, o comité organizador dos jogos e a Thames Water, <http://www.thameswater.co.uk>, (ver Figura 6.1) acordaram o fornecimento de águas residuais tratadas para múltiplas aplicações dentro do parque dos jogos.



Figura 6.1. Notícia do Acordo para reutilização de águas residuais no parque olímpico.  
(<http://www.thameswater.co.uk>)

A reutilização de águas residuais vai permitir uma poupança de água tratada, com os padrões normais de consumo, de um volume que poderá atingir até cerca de 83 piscinas olímpicas. A instalação, vai produzir 570 m<sup>3</sup> de água reciclada, proveniente de esgotos londrinos para utilizações não potáveis, incluindo o aquecimento e resfriamento do Centro do Parque Olímpico, 80.000 descargas de sanitas e para irrigar os parques e campos de jogos dentro do parque olímpico. A poupança representará cerca de 40% na gestão hídrica do parque.

### 6.4. Santiago Golf Resort, Ilha de Santiago, Cabo Verde (em estudo)

Inserido na Zona de Desenvolvimento Turístico Integral (ZDTI), implantado numa área de cerca de 600 ha, na região Sudoeste do município da Praia, Cabo Verde (Figura A.1), o empreendimento SGR necessitará de um volume médio diário anual de cerca de 3.300 m<sup>3</sup>/d, e de cerca de 4.800 m<sup>3</sup>/d nos três meses mais secos do ano (Março, Abril e Maio), Diogo et al (2011a), para garantir as necessidades hídricas de rega. Segundo Diogo e Oliveira (2008), baseados num estudo hidrológico da zona costeira sul da ilha de Santiago, e nos dados disponíveis dos sistemas públicos, a região, com características áridas, sofre de enorme escassez hídrica, tendo sido constatada a existência de deficiências nos sistemas de distribuição de água potável e recolha de águas residuais comunitárias. Em função das

## EXEMPLOS DE REUTILIZAÇÃO

condicionantes existentes, torna-se necessário um estudo elaborado das principais fontes de fornecimento para suprir as carências hídricas das áreas verdes que se pretendem implementar.

Pela dimensão regional do projecto de saneamento e perspectivas de utilização a longo prazo, as necessidades hídricas ficariam supridas pela reutilização de águas residuais, quer pelo volume de descarga, quer pela capacidade da ETAR existente na cidade da Praia (Diogo et al, 2011b). No entanto, a actual afluência à ETAR não consegue garantir 1.000 m<sup>3</sup>/d, daí a necessidade de promover alternativas a curto prazo de modo a suprimir essas falhas. Para resolver o problema a curto e médio prazo, a solução poderá passar, em parte, pela construção de albufeiras de armazenamento em algumas ribeiras, de modo a promover a reserva de água e utilizá-la conforme as necessidades temporais, apesar dos possíveis inconvenientes destas soluções em bacias hidrográficas tão pequenas, com especial preocupação para a acumulação de inertes e dificuldades de gestão devido ao carácter errático das precipitações decorrentes do clima da região.

A gestão hídrica poderá passar pela conjugação de várias fontes de fornecimento e meios de retenção e armazenamento (Figura A.2). A adopção de cada variável como influente no sistema dependerá dos caudais e volumes disponíveis, mas também dos custos associados a cada alternativa, podendo ser alterada em função desses mesmos factores. Importa salientar a preocupação na reutilização de águas residuais tratadas, de modo a minimizar as carências hídricas existentes, resultado da localização geográfica, alterações climáticas e hidrológicas (Figura A.3) e económicas. Daí, a preparação do sistema, de modo a maximizar a reutilização da água, dotando-o de antemão das características necessárias à sua plena utilização, quer a curto prazo, quer no horizonte de projecto.



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

### 7. Avaliação de gestão de recursos hídricos. Sociedade turística Costa de Prata – Cabo Verde

#### 7.1. Localização e clima

A criação de espaços de lazer com características de resort implicam a disponibilidade de serviços e áreas cujo consumo de recursos hídricos é significativo, correspondendo às expectativas e proporcionando aos clientes actividades de contacto com o ambiente ou usufruto de condições de bem-estar e saúde e diversão, como espaços verdes, desporto, piscinas, spas, golfe, etc. A carência de recursos hídricos suficientes inviabiliza qualquer projecto desta natureza, por isso a importância da existência do recurso água em qualidade e quantidade.

A ilha de Santiago, no arquipélago de Cabo Verde, situa-se a cerca de 640 km da costa africana, no Oceano Atlântico, e é uma das dez ilhas habitadas do país (Figura 7.1). A sua localização expõe-la a ventos secos e quentes provenientes do Sahara, especialmente a meio da circulação da célula de Hadley em que ventos alísios secos se deslocam de zonas de altas pressões tropicais para a zona de convergência intertropical de baixas pressões no equador.

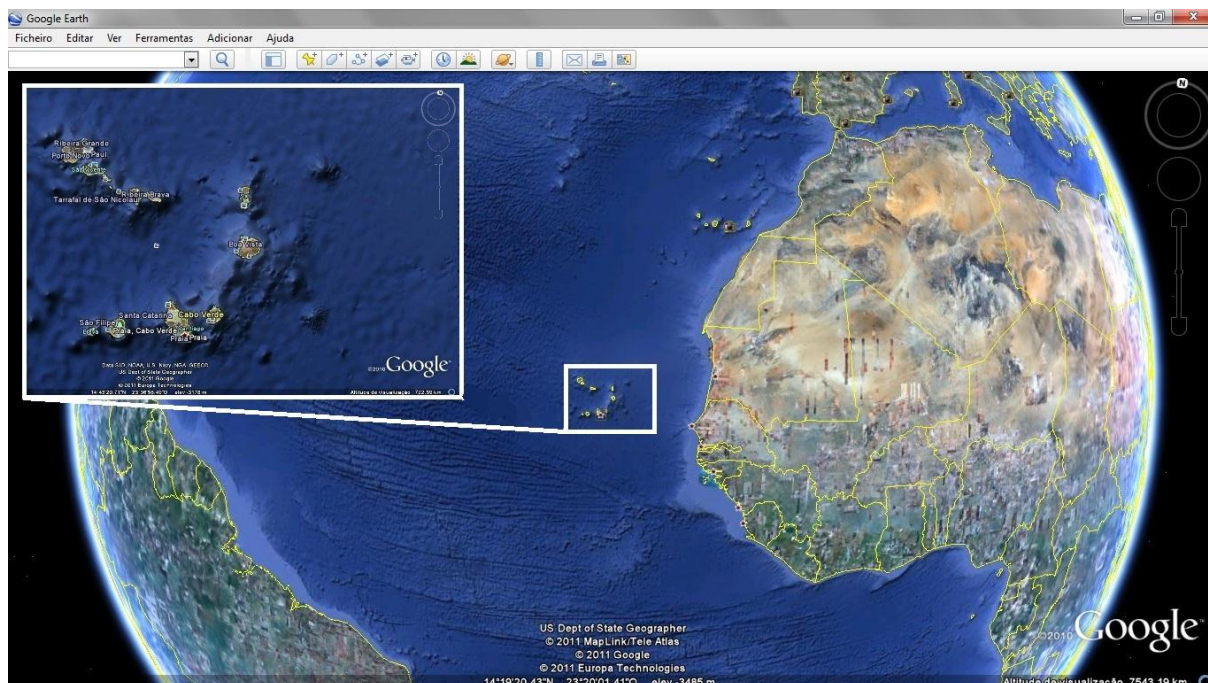


Figura 7.1. Localização de Cabo Verde. (www.googleearth.com)

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

De acordo com Diogo et al (2011c), as características climáticas das regiões costeiras de Santiago são de semiárido a árido, com precipitações erráticas de curta duração e intensas, espaçadas temporalmente, muita evaporação, devido a ventos frequentes moderados a fortes e temperaturas médias anuais acima dos 20°C, com pequenas amplitudes térmicas. Pelo exposto, deduzem-se excelentes condições para o turismo, mas com graves défices de água.

O projecto de implantação do Resort Costa de Prata (ver Figura 7.2) será construído na zona de Achada Bernel e localizado numa parcela situada entre a praia de Caniço e a localidade de São João Baptista, na região Sudoeste da ilha de Santiago, ocupa uma área de 158 hectares e reúne as actividades de hotelaria, vilas, aldeamentos e apartamentos turísticos, campo de golfe, marina, centro hípico, dessalinizadora e ETAR, segundo o liberal.sapo.cv.

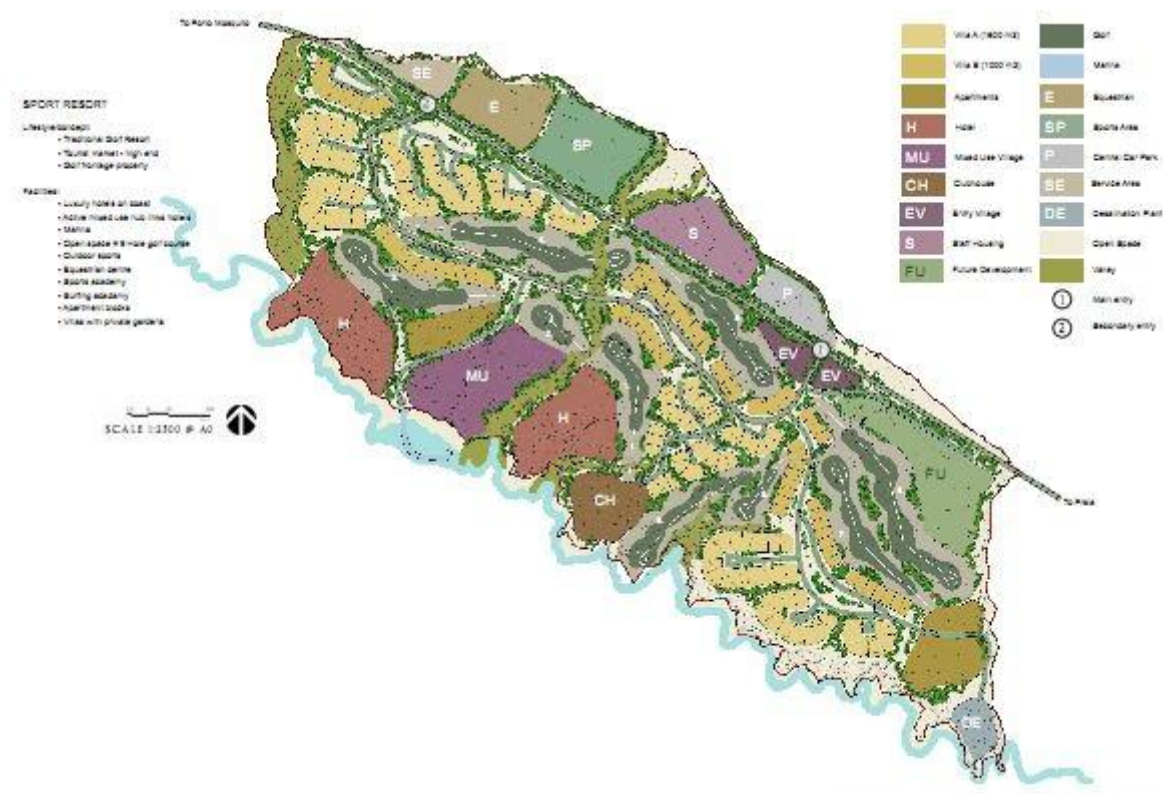


Figura 7.2. Plano de pormenor do resort Costa de Prata. (WATG, 2008)

### 7.2. Necessidades hídricas

Para avaliar a quantidade de água necessária ao desenvolvimento da actividade, é necessário contabilizar as necessidades de todos os equipamentos ou espaços verdes. Para os hotéis

## AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

devem-se contabilizar as capitações médias e máximas, tendo em consideração a classe, a dimensão/capacidade e os serviços disponíveis, como piscinas e utilizações de spa. Para as moradias, vilas e apartamentos, também se deve considerar a capitação, em função da ocupação e finalmente, para as áreas exteriores de utilização colectiva, seja desportiva ou de lazer, como jardins, lagos, relvados ou outras, devem ser tidos em conta os volumes de água requeridos, bem como a sua variação temporal.

Também a lavagem de passeios, ruas, equipamentos, veículos e outros serviços de utilização por clientes deve ser considerado no somatório das capitações. Tendo em conta todas as necessidades, com base no plano de áreas e população equivalente, foram assumidos por SCPS (2008) requisitos de 2.990 m<sup>3</sup> por dia, correspondentes a 2200 m<sup>3</sup>/d de água potável e 790 m<sup>3</sup>/d para irrigação de espaços verdes. Para suprir as necessidades, torna-se necessário analisar as fontes disponíveis, e posteriormente providenciar o tratamento das águas residuais resultantes de algumas utilizações.

Tendo em conta as disponibilidades de água na ilha, em particular na parte sul-sudoeste, onde será implantado o empreendimento, a fonte de água potável será por dessalinização, considerando que as disponibilidades subterrâneas são escassas ou deficitárias, de acordo com Diogo et al (2011d). Para melhorar a eficiência hídrica do ponto de vista económico e ambiental, reduzindo a compra ou produção de água dessalinizada potável, foi considerado o aproveitamento das águas residuais, submetidas a tratamento adequado à sua reutilização.

### **7.3. Gestão hídrica**

#### **7.3.1. Água potável**

A disponibilidade permanente de água e com qualidade é essencial para garantir o funcionamento do empreendimento e salvaguardar a imagem do ponto de vista comercial. Falhas no abastecimento de água teriam consequências negativas, principalmente na imagem do resort, mas também com impacto regional.

Para garantir o abastecimento deverá ser construída uma central de dessalinização, precavendo eventuais falhas no abastecimento da rede pública, embora os custos associados à construção e principalmente à manutenção do sistema sejam elevados para o caudal necessário ao projecto. Apesar da existência de captações subterrâneas na região do empreendimento, o caudal e garantias da frequência no abastecimento são baixas. Por isso, para rentabilizar o projecto, e tendo em conta os custos financeiros e de imagem, torna-se necessário avaliar:

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

- o aproveitamento da água doce disponível para utilizações não potáveis;
- o custo de água dessalinizada fornecida pela rede pública;
- o custo da água dessalinizada na central do resort, considerando o investimento e custos de operação e manutenção, e eventual reforço dos caudais públicos, rentabilizando a central e baixando custos de produção;
- a minimização das necessidades de água doce, considerando o reúso de águas residuais tratadas;
- a implantação de redes de distribuição, considerando os pontos anteriores, tendo em conta os períodos de vida estimados, e avaliando a solução economicamente mais vantajosa.

### 7.3.2. Água residual

O tratamento das águas residuais é essencial, principalmente do ponto de vista ambiental, podendo ser considerada como fonte de água doce para inúmeras aplicações, libertando outras fontes para fins mais exigentes em termos de qualidade. Ser ou não ser considerado um equipamento autónomo, essencial à gestão do empreendimento, depende da avaliação do custo-benefício do tratamento e/ou reutilização das águas residuais, no contexto da região.

Para avaliar a sua rentabilidade devem-se considerar os benefícios:

- Disponibilidade de água para aplicações não potáveis;
- Gestão das suas necessidades independentemente de terceiros;
- Não pagamento de taxas de águas residuais, com valores significativamente mais elevados, tendo em conta os custos de manutenção da rede pública;
- Inexistência ou redução da necessidade de compra de água reciclada.

Bem como os custos associados à recolha, transporte e tratamento de águas residuais:

- Custos financeiros de investimento na construção da ETAR;
- Para armazenamento, incluindo reservatórios, sistemas de bombagem e condutas de transporte;
- Associados à localização que deve ser estudada tendo em conta o impacto visual e a eventual libertação de cheiros;
- Custos de tratamento em função das aplicações;
- De financiamento de condutas de transporte, desde a ETAR pública até ao local do empreendimento.

Considerando que a rede de distribuição de águas recicladas deve ser totalmente independente, o custo associado a diferentes alternativas a montante mantém-se para os mesmos caudais distribuídos, devendo ter-se apenas em consideração o tratamento e

AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

distribuição em alta. Assumindo-se a rentabilidade do projecto de construção e manutenção da ETAR, e considerando-se os custos de tratamento médios de Portugal, mesmo para afinação, os valores unitários de reutilização ficarão aquém dos custos unitários com água potável de outras fontes, mesmo que as exigências de qualidade do tratamento sejam elevadas, tendo em conta o espaço e a forte possibilidade de contacto com pessoas/ clientes do resort. Neste contexto, a água deve ser tratada com os padrões mais elevados de exigência.

A avaliação do nível de tratamento deve ser tanto química, como bacteriológica. Quimicamente, deverão ser estudadas as características tanto do solo, como das plantas, e os impactos dos diversos poluentes em ambos, em particular a salinidade das águas e a descarga de nutrientes nas várias plantas, considerando os diversos comportamentos, aceitação e tolerabilidade à sua presença. Pode-se apresentar como exemplo a diferença de tolerância à salinidade de algumas espécies de relva, herbáceas ou outras (Figura 7.3), ou a concentração de outros constituintes, como o boro (principalmente no caso de água dessalinizada), ou mesmo o azoto, visto não existir rotatividade de plantas, como no caso de monoculturas. Do ponto de vista bacteriológico, as maiores preocupações são o contacto de pessoas com as superfícies regadas, mas também as superfícies lavadas, ou a exposição a aerossóis durante a rega por aspersão (técnica normalmente utilizada na rega de campos de golfe), podendo ser minimizado esse risco em canteiros, árvores e outras zonas verdes através da utilização de rega gota-a-gota, subsuperficial, ou por alagamento. Para eliminar o risco de contágio e contaminação por microrganismos, defende-se que as águas recicladas sejam desinfectadas.



Figura 7.3. Amostra de relvas com várias sensibilidades à salinidade.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

Para garantir a utilização de águas residuais tratadas, após o tratamento secundário mínimo para descarga, o efluente deve ser desinfectado e submetido à remoção de nutrientes, tendo em conta a possível reutilização em lagoas e porventura a acumulação de azoto nos solos.

### 7.4. Avaliação das hipóteses alternativas para o empreendimento

#### 7.4.1. Considerações gerais e requisitos básicos

Tendo em conta as disponibilidades de água, os custos de cada recurso, o investimento requerido para as diversas alternativas, a utilização ou reutilização e ainda as características dos meios receptores e plantas previstas, propõe-se a utilização de várias fontes de água, tendo em conta as especificidades na sua utilização e os respectivos parâmetros de qualidade.

Salvaguardando a garantia de segurança sanitária, a água dessalinizada deve ser fornecida em primeira mão ao consumo humano e todas as actividades a ele directamente associado. Por uma questão ambiental, toda a água recolhida no sistema de saneamento deverá ser tratada convenientemente. Pelos valores disponíveis necessários à rega paisagística, toda a água efluente da ETAR deverá ser reutilizada neste sector e complementada, se necessário, por eventual fonte externa de captação superficial, ou mesmo, por água dessalinizada. De modo a fundamentar a decisão de utilização de quaisquer fontes de água, analisam-se de seguida as necessidades e os respectivos custos, obtendo-se a solução mais económica, tendo como hipótese base ser possível garantir que todas as fontes apresentam as características necessárias aos fins a que se destinam.

Segundo a Avaliação Prévia executada por Sacramento Campos, Projectos e Serviços, SA, haverá a necessidade de garantir 2200 m<sup>3</sup>/d de água potável, distribuída por moradias e hotéis, conforme Quadro 7.1.

Quadro 7.1. Necessidades de água potável.

Utilizador	Unidade	Caudal
Moradias	m <sup>3</sup> /d	1957
Hotéis	m <sup>3</sup> /d	243
Total	m <sup>3</sup> /d	2200

São também admitidos requisitos de 790 m<sup>3</sup>/dia para satisfazer as necessidade hídricas das plantas, conforme Quadro 7.2, cujo caudal foi calculado com base numa percentagem admitida de áreas verdes da área do empreendimento, e numa capitação média de 50 m<sup>3</sup>/d/ha. Posteriormente repetir-se-á o processo de análise, considerando as necessidades hídricas das

AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

plantas nos meses mais secos, cuja capitação máxima poderá ser da ordem de 70 m<sup>3</sup>/d/ha, de acordo com estudos anteriores efectuados para a região S-SW da ilha de Santiago (Diogo et al, 2011e).

Quadro 7.2. Caudal médio destinado à rega.

Área total (ha)	Rácio de áreas verdes	Capitação (m <sup>3</sup> /d)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)
158	0,1	50	790

Com base nos valores anteriores deduzem-se as quantidades totais necessárias e os caudais de água residual (apresentados no Quadro 7.3). Para a quantificação dos caudais afluentes à ETAR, considerou-se um factor de 60% relativamente aos volumes de água potável na distribuição, sendo um valor intermédio entre o factor de afluência médio de 0,8 normalmente utilizado em Portugal, e o valor de 0,4 admitido por ASCE.WPCF (1982) para zonas áridas. Entre a ETAR e o sistema de rega, assumem-se perdas de cerca de 30%, distribuídas pela ETAR, elevatórias, armazenamento e redes distribuidoras.

Quadro 7.3. Resumo dos parâmetros de gestão hídrica.

Parâmetro	Caudal (m <sup>3</sup> /d)
Água Potável	2200
Água de Rega	790
Afluente à ETAR	1320
Efluente Terciário, Disponível para Rega	924

#### 7.4.2. Hipóteses de utilização dos recursos

Tendo em conta as especificidades da Ilha, em particular a vertente Sul, com carências ou escassez de água potável, foram consideradas 8 hipóteses, garantindo as necessidades anteriormente referidas, mas assumindo alternativas para cada abastecimento e comparando as diversas combinações (Quadro 7.4).

A título de exemplo, refere-se a hipótese H3, em que se assume 100% do abastecimento potável através da rede pública da ELECTRA E.P. (Empresa Pública de Electricidade e Água) e o abastecimento para rega através de água dessalinizada e com captação em albufeiras, previstas em estudo prévio, conforme as plantas do Anexo B. Nestas situações, o volume considerado na captação é de cerca de 5% das necessidades de rega, por motivos de escassez, embora possa ser aproveitada em períodos de chuva para reforçar os níveis dos reservatórios. Neste caso, não foi considerado o reaproveitamento das águas residuais, cujo afluente será

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

tratado com nível secundário e posteriormente descarregado no mar, ou eventualmente em alguma albufeira.

Quadro 7.4. Hipóteses de utilização dos recursos.

Hipót.		H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
Potável	Rede Púb. (Electra)	V	V	V	V				
	Dessalin. (Resort) **					V	V	V	V
Águas Resid.	Trat. Secund.	V	V	V		V	V	V	
	Trat. Terciário				V				V
Rega	Rede Púb. (Electra)	V				V			
	Dessalin. (Resort) *		V	V			V	V	
	Captação em Albufeira			V				V	
	Ág. Resid. Tratada				V				V

\*,\*\* A dessalinização de água para rega é mais barata porque os custos unitários das diversas operações e desgaste de materiais ou consumo de energia também o são, daí haver duas referências e com preços diferentes

#### 7.4.3. Análise económica

Para elaborar a tabela de custos unitários e de exploração (Quadro 7.5), foi necessário proceder á avaliação individual de cada hipótese e caracterizá-la em termos de custos de produção, financeiros e de manutenção. As estimativas de custos unitários apresentadas no quadro incluem os valores relativos a perdas residuais nos sistemas. E foram estimados com base em vários elementos, como as plantas do estudo prévio (Figuras B.2, B.3 e B.4), diversas fontes, e pressupostos:

1. Independentemente da fonte de alimentação potável, a rede de alimentação, porque essencial, é única, não sendo considerados os custos de distribuição, porque são iguais em todas as situações;
2. Nos custos da dessalinização, consideraram-se também os custos de estações e condutas elevatórias, bem como o reservatório R0 (Figura B.2). Este custo unitário ponderado, teve



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

por base o custo de financiamento e manutenção, repartido por 25 anos, com taxa de juro de 6,5%. Os mesmos pressupostos foram usados para as diversas situações de cálculo de diluição de custos;

Quadro 7.5. Custos unitários e custos totais de exploração.

Hipót.		FC	€/ M3	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
Potável	Água Pública (Electra)	CP	4,98 €	2200	2200	2200	2200				
		CD	na								
	Dessalin. (Resort) **	CP	1,10 €					2200	2200	2200	2200
		CD	0,05 €								
Águas Resid.	Trat. Secund.	CP	0,45 €	1320	1320	1320		1320	1320	1320	
		CD	na								
	Trat. Terc.	CP	0,22 €				924				924
		CD	0,05 €								
Rega	Água Pública (Electra)	CP	4,98 €	790				790			
		CD	na								
	Dessalin. (Resort) *	CP	0,73 €		790	750,5	0		790	750,5	0
		CD	0,05 €								
	Captação em Albufeira	CP	0,43 €			39,5				39,5	
		CD	0,05 €								
	Água Residual	CP	0,22 €				790				790
		CD	0,05 €								
<b>Custos Totais/ Hipótese (m€/d)</b>				<b>14,89</b>	<b>11,58</b>	<b>11,56</b>	<b>11,17</b>	<b>6,46</b>	<b>3,15</b>	<b>3,14</b>	<b>2,74</b>
<b>Custos Totais/ Hipótese (M€/ano)</b>				<b>5,44</b>	<b>4,23</b>	<b>4,22</b>	<b>4,08</b>	<b>2,36</b>	<b>1,15</b>	<b>1,15</b>	<b>1,00</b>

FC-Fraccionamento de custos; CP-Custos de produção; CD-Custos de Distribuição; m€-milhares de €; M€-milhões de €.

3. O efluente do tratamento terciário será cerca de 70% do afluente á ETAR. Com base neste princípio, o efluente médio será 924,00 m<sup>3</sup>, acima das necessidades hídricas médias para rega.

4. Os custos de tratamento e distribuição para o tratamento secundário não são considerados porque este é obrigatório. Para o tratamento terciário, os custos são transferidos para a fase de rega onde são contabilizados;

5. Foi considerada uma captação de 5% em albufeira do caudal necessário à rega. Embora não sendo totalmente fiável e porventura desprezável, foi considerada a captação e transporte até aos reservatórios de armazenamento;

Após a determinação dos valores totais de custo de cada hipótese/opção, foram caracterizados por cor no Quadro 7.5, desde a economicamente mais vantajosa a verde (H8), até à mais desfavorável com a cor vermelho (H1).

AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

Para melhor compreensão do diferencial de valores entre as diversas hipóteses, foi elaborado o gráfico da Figura 7.4, com os valores apurados no Quadro 7.5.

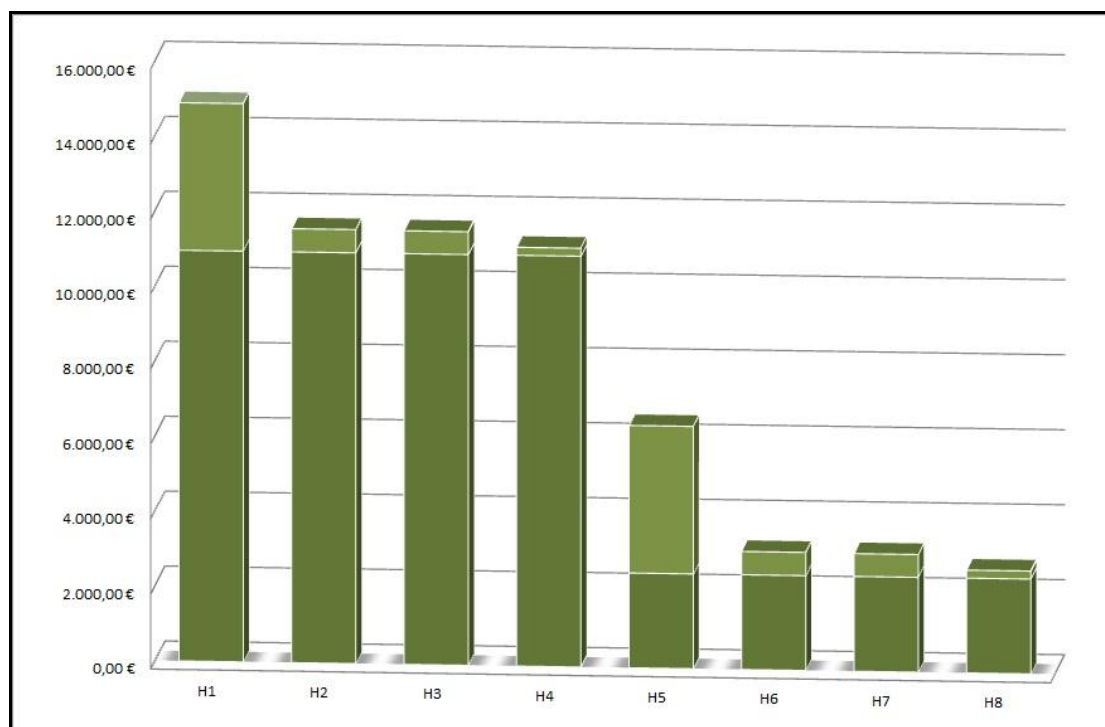


Figura 7.4. Custos diários totais de fornecimento de água ao empreendimento.

Com a reutilização dos volumes requeridos, deve-se garantir que toda a água residual é devidamente tratada e, além de se satisfazer a qualidade ambiental do meio de descarga, consegue-se uma fonte hídrica a preços mais competitivos que a principal fonte de água doce - a dessalinização. Uma eventual fonte alternativa de captação superficial, não sendo capaz de satisfazer as necessidades potáveis, poderá ser armazenada com o efluente da ETAR, permitindo gerir da melhor maneira as necessidades de rega que podem ter períodos mais ou menos secos, e consequentemente com maiores ou menores necessidades. A água dessalinizada, para além do abastecimento potável, poderá colmatar eventuais falhas para abastecer outras actividades, ainda que não exijam o mesmo nível de qualidade.

Com base na avaliação económica efectuada, a solução economicamente mais favorável, consiste na utilização de água potável dessalinizada no próprio empreendimento e o aproveitamento das águas residuais tratadas para rega paisagística. Como o efluente da ETAR excede as necessidades médias anuais de rega, o excesso poderá ser armazenado em reservatório e/ou em albufeiras (se executadas). Com esta solução, o custo anual do serviço

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOC. TURÍSTICA COSTA DE PRATA

rondará 1.000.000,00€. Comparando com a solução mais barata de não reutilização de águas residuais, consegue-se uma redução de custos de cerca de 15%.

Quando as necessidades de rega superam a disponibilidade de água residual tratada, nos meses mais secos, Março, Abril e Maio, sendo necessário garantir cerca de 1106 m<sup>3</sup>/d, então torna-se necessário compensar com outra fonte esse défice de 182 m<sup>3</sup>/d. Para garantir a disponibilidade de água nesses meses, admitem-se duas hipóteses:

- Armazenar água em reservatórios e/ou albufeiras (cerca de 16.600 m<sup>3</sup>), implicando início de armazenamento a partir de Outubro do ano anterior;
- Complementar o défice com água dessalinizada.

Comparando com os valores médios anuais, cujo custo era cerca de 2.740,00€ diários, nos meses de maior exigência de recursos, esse valor pode variar entre 2.870,00€ se se conseguir garantir as reservas em albufeira e 2.920,00€ se não existirem formas de armazenamento, ou a água se tornar imprópria para aplicação.

## 8. Conclusões

A reutilização de águas residuais tratadas pode ser encarada como uma alternativa às fontes tradicionais superficiais e subterrâneas, sendo praticamente indispensável equacioná-la quando as fontes tradicionais se esgotam fisicamente, a sua captação deixa de ser rentável economicamente, ou estão severamente poluídas.

O ciclo da água leva á citação de Lavoisier, "Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.". No entanto, para a manutenção do ciclo é importante devolver a água à natureza em condições de qualidade compatíveis com o meio envolvente. A destruição de ecossistemas aquáticos ou a contaminação de solos por poluentes químicos e orgânicos reduz o equilíbrio ambiental e prejudica seriamente o desenvolvimento económico das sociedades que os habitam.

O tratamento adequado de efluentes tem por base fundamentos nas necessidades hídricas e no desenvolvimento sociocultural: escassez física de água e protecção do meio ambiente.

No primeiro caso, a reutilização de água torna-se uma prática por necessidade, porque os recursos não existem, são raros ou insuficientes para as necessidades das populações, ou estão poluídos. Nestes contextos, a dessalinização passa a ser um importante meio de obter água potável e o tratamento e reutilização de águas residuais torna-se uma alternativa actualmente considerada normalmente para a satisfação de outros consumos. A reutilização é encarada mais como uma necessidade, e não tanto como um meio de repor um bem em condições de reutilização ambiental conforme. Nestas situações, o seu reaproveitamento promove, no entanto, a qualidade do efluente, e minimiza os factores de risco sanitários e ambientais.

No segundo caso, as preocupações são simplesmente ambientais. Em diversos locais ou países onde a escassez de água é um problema inexistente e sem riscos aparentes de ocorrência, o tratamento de águas residuais é uma preocupação principalmente ambiental, cuja valorização e preservação do meio é uma questão cultural e de valores sociais. Nestas situações, a reutilização é indirecta com descargas em linhas de água ou albufeiras, e captações para abastecimento a jusante, mas sem riscos de poluição que condicionem qualquer habitat aquático ou outro que o use como fonte de alimentação.

Do ponto de vista económico, a reutilização de efluentes desinfectados implica um acréscimo no custo do tratamento, porque os padrões de qualidade exigidos para descarga em meios aquáticos são nas situações mais comuns o tratamento secundário, ou seja, a diminuição da

## CONCLUSÕES

carga orgânica susceptível de consumo de oxigénio e fonte de alimentação e proliferação de microrganismos, sendo frequentemente esse valor já suportado pelos consumidores de água. Ou seja, a indústria, comércio e, em particular, as famílias já suportam o custo do tratamento necessário á descarga do efluente, não considerando a sua reutilização, mesmo nas condições mais delicadas onde se exige a remoção de nutrientes para descarga em meios sensíveis à eutrofização. Nestas condições, a afinação de parâmetros de qualidade que implique outros tratamentos, como a desinfecção, ou mesmo a redução da salinidade, tem um acréscimo de valor que torna a reutilização muito competitiva, comparada com outras fontes, especialmente tratando-se de regiões com carência de recursos hídricos, como os casos de Porto Santo ou Cabo Verde, cuja alternativa é a dessalinização, com preços mais elevados.

Ambientalmente, a reutilização de águas residuais (salvaguardando os devidos cuidados), só apresenta vantagens porque disponibiliza água com padrões de qualidade próximos das águas de captação. Se em zonas áridas e com poucos recursos hídricos a sua reutilização é uma necessidade, em zonas onde terá que “disputar mercado” com outras fontes, promove uma gestão mais sustentável desses meios, minimizando a sobre exploração de aquíferos, baixando a descarga de alguns poluentes em linhas de água e possibilitando a reabilitação ou manutenção de habitats naturais, entre outras vantagens. Em Portugal continental, apesar da disponibilidade de água não ser problema, a reutilização em actividades urbanas não potáveis poderia ser uma vantagem, não só ambiental, mas também económica, baixando significativamente os consumos das autarquias e, conseqüentemente, a factura dos munícipes, porque grande parte das regas e lavagens públicas são efectuadas com água potável. Deste modo, reduzia-se a extracção e a descarga de efluentes potencialmente perigosos no meio ambiente.

A variável mais importante deste assunto é a questão sanitária, com implicações directas, ou indirectas, na saúde pública e cuja abordagem é muito importante, até por motivos sociais e de aceitação á sua aplicabilidade. Em termos de opinião pública, a aceitação de reutilização de águas residuais é muito sensível e a possibilidade, ou pior, a ocorrência de infecções decorrentes da reutilização de efluentes, mesmo que indirectamente, afecta drasticamente a sensibilidade à sua tolerância. Conhecendo os riscos, deve-se providenciar o máximo de qualidade, recorrendo aos tratamentos mais adequados à eliminação de microrganismos patogénicos, porque a concentração destes é variável consoante a comunidade de onde provem o afluente bruto, e até pelas características do meio, sabendo que ambientes húmidos e quentes são favoráveis a períodos de sobrevivência dos patogénicos e simultaneamente á sua maior concentração e capacidade de infectar algum hospedeiro, com principal preocupação para o homem. É por isso muito importante criar as condições para a eficiente desinfecção do efluente antes da sua reutilização, garantindo-se que, durante os períodos de armazenamento,

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

## CONCLUSÕES

transporte e mesmo depois de utilizado, os microrganismos não tenham condições de se reabilitar com potencial infeccioso.

Devido á diversidade de meios, recursos, desenvolvimento e condições climáticas e sociais, a reutilização de efluentes residuais está sujeita a muitas variáveis e cada caso deve ser analisado tendo em conta as características locais e temporais, não se podendo definir uma regra universal, embora a sua consideração como recurso e parte de um ciclo seja suficiente para se admitir que, quanto maior o nível de tratamento, maiores as vantagens, sejam ambientais, sanitárias e fonte de desenvolvimento económico das comunidades.

## 9. Referências Bibliográficas

SANTOS, B., RIBEIRO, C., FERNANDES, E., SOARES, P., ARNAUD, R. e ARAÚJO, S. (2002) - **Ambiente e Energia**, PRONACI.

Disponível em: [http://pme.aeportugal.pt/Aplicacoes/Documentos/Uploads/2004-10-15\\_16-42-29\\_ambiente%20e%20energia.pdf](http://pme.aeportugal.pt/Aplicacoes/Documentos/Uploads/2004-10-15_16-42-29_ambiente%20e%20energia.pdf);

ALMEIDA, O. (2010) – **Qualidade da água de irrigação**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento.

Disponível em: [http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro\\_qualidade\\_agua.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf)

AMBIENTEONLINE@ (2007) – “**Governo diz não à dessalinização**”. Água

Disponível em: <http://www.ambienteonline.pt/noticias/detalhes.php?id=5680>

BELTRÁN, J. e KOO-OSHIMA, S. (2004) - **Water desalination for agricultural applications**. Land and water discussion paper 5. FAO. Roma.

BERARDINO, S. (2010) – **Digestão anaeróbia no Porto Santo/ Estudo de viabilidade**. Biores. LNEG.

Disponível em: [http://www.biores.eu/docs/Feasibility\\_study\\_INETI.pdf](http://www.biores.eu/docs/Feasibility_study_INETI.pdf)

CAROLLO (2008) – **Operation and maintenance cost**. Wastewater collection and treatment facilities integrated master plan. Carollo Engineers. City of Riverside, CA

Disponível em: <http://www.riversideca.gov/pworks/pdf/masterplan-wastewater/Vol%2010%20-%20Ch%2002%20-%20Operation%20and%20Maintenance%20Costs.pdf>

CORRAL, M. (2004) - “**Avances técnicos en la desalación de aguas**”.

Disponível

em: [http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_AM%5CAM\\_2004\\_37\\_17\\_26.pdf](http://www.marm.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_AM%5CAM_2004_37_17_26.pdf)

DIOGO, A., OLIVEIRA, A., e FRANCA, T. (2008) – **Sistema de abastecimento do empreendimento Santiago Golf Resort, Cabo Verde. Uma solução de engenharia**. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia Maputo.

DIOGO, A. e OLIVEIRA, A. (2008) – **Sistemas de drenagem e reutilização de águas residuais comunitárias da zona sudoeste do município da Praia, Cabo Verde. Um caso de estudo**. 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia. Maputo.

DIOGO, A., TAVARES, P. e OLIVEIRA, A. (2011) - **O Projecto Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente – Santiago Resort e a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos**. Coimbra, Lisboa

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DREIZIN, Y. (n.d.) – **Wastewater reuse-risk assessment: the Israeli case study**. Water Commission, ISRAEL

Disponível em: [http://www.ildesal.org.il/pdf/wastewater\\_reuse\\_risk\\_assessment.pdf](http://www.ildesal.org.il/pdf/wastewater_reuse_risk_assessment.pdf)

DUARTE, R. (1998) – **Prospecção e captação de águas subterrâneas em terrenos vulcânicos**. Arquipélago da Madeira.

Disponível em: <http://www.aprh.pt/congressoágua98/files/com/153.pdf>

EEA (2003) - **Os recursos hídricos da Europa: Uma avaliação baseada em indicadores**. Síntese. ISBN 92-9167-588-1. Copenhaga

EEA (2005) - **Source apportionment of nitrogen and phosphorus inputs into the aquatic environment**. EEA Report No 7/2005. Copenhaga.

EEA (2009) - **Water resources across Europe — confronting water scarcity and drought**. EEA Report No 2/2009. Copenhaga.

ERSAR (2010) - **Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2009)**; Sumário Executivo

ERSAR (2011) - **Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (2010)**; Sumário Executivo

Disponível em: [http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?Name=RASARP\\_SE](http://www.ersar.pt/website/ViewContent.aspx?Name=RASARP_SE)

EUWI (2007) - **Mediterranean Wastewater Reuse Report**.

FAO (2011) - The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.

Disponível em: <http://www.fao.org/nr/solaw/the-book/en/>

GWRS@ (2011) - <http://gwrsystem.com/about-gwrs/facts-a-figures.html>. Facts & Figures. Orange County, CA

HIDALGO, D. e IRUSTA, R. (n.d.) - **The cost of wastewater reclamation and reuse in agricultural production in the Mediterranean countries**. Environmental Division, CARTIF. Valladolid, SP

Disponível em: <http://www.uest.gr/medaware/publications/Hidalgo-Cost.doc>

ICEX@ (2009) – **La desalinizacion del agua en espana**. Gobierno de España.

Disponível

em: <http://www.spainbusiness.com/icex/cma/contentTypes/common/records/viewDocument/0,.,00.bin?doc=4299441>

IDA (2011) – Desalination at a glance



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Disponível em: [www.idadesal.org](http://www.idadesal.org)

IGA@ (2011) - <http://iga.igserv.pt/abastecimento-ilha-do-porto-santo.html>. IGA - Investimentos e Gestão da Água, S.A., Porto Santo

InDA@ (2011) - [http://www.indaindia.org/intro\\_desalination.htm#top](http://www.indaindia.org/intro_desalination.htm#top) Desalination Division, BARC, Trombay, Mumbai

INSAAR (2010) – **Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais**. Sistemas Públicos Urbanos.

Disponível em: <http://insaar.inag.pt/bo/contents/resultadosrelatorios/13130612039825.pdf>

IRAR (2009) – “Recomendação Tarifária”. Recomendação IRAR n.º 01/2009. IRAR

JN (2005) – “**Dessalinização não é solução para Portugal**”.

Disponível em: [http://www.jn.pt/paginainicial/interior.aspx?content\\_id=508790](http://www.jn.pt/paginainicial/interior.aspx?content_id=508790)

MANOLI, A. (2010) - **Desalination in Cyprus**. Water Development Department

Disponível em: [www.moa.gov.cy/wdd](http://www.moa.gov.cy/wdd)

MEKOROT (2006) - **Tel Aviv Aviv's Urban Water system; from Source to Reuse**

Disponível em:

[http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CTEL\\_PRS\\_Urban\\_water\\_system\\_TA.pdf](http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/CTEL_PRS_Urban_water_system_TA.pdf)

MOHANNADI, H. (2010) – “**Water Management in Qatar**”, General Secretariat for Development Planning, State of Qatar

MONTE, H. (2010) – **Reutilização de águas residuais tratadas**. ERSAR/ISEL.

MONTE, H. e ALBUQUERQUE, A. (2010) – **Reutilização de Águas Residuais**. ERSAR – Série Guias Técnicos.

MOXEY, D. (2011) - SUCCESSFUL BOOT PROJECT NEARS COMPLETION-Larnaca.

IDE Technologies Ltd

NAP (2008) - **Desalination: A National Perspective**. National Research Council of the National Academies Press. Washington, D.C.

Disponível em: [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=12184&page=22](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=12184&page=22)

NIXON, S. (2000) – “**Recursos hídricos na europa: uma utilização sustentável?**”. Situação, perspectivas e questões. Relatório de avaliação ambiental 7. EEA. Copenhaga.

PALANIAPPAN, M., GLEICK, P., ALLEN, L., COHEN, M., CHRISTIAN-SMITH, J. e SMITH, C. (2010) - **Clearing the Waters**. A focus on water quality solutions. Pacific Institute. UNEP. Nairobi.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ROSA, M., VIEIRA, P., e MENAIA, J. (2009) - **O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem**. ERSAR– Série Guias Técnicos.

SCPS (2008) – **Sustentabilidade dos sistemas de infra-estruturas gerais do empreendimento turístico da Sociedade Costa de Prata**. Avaliação Prévia. Sacramento Santos – Projectos e Serviços, SA. Lisboa.

SEMIAT, R. (2000) – “**Desalination: Present and Future**”, International Water Resources Association

SILVA, J. e HAIE, N. (2000) – “**Estratégias para a prevenção e controlo da intrusão salina**”. Planeamento e gestão global de recursos hídricos costeiros. Congresso Nacional da Água, 5, Lisboa, Portugal.

Disponível em: <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8681/1/JFS%200002%20-%20Estrategias%20Controlo%20Intrus%C3%A3o%20Salina.pdf>

TC (2008) - **Auditoria à “Investimentos e Gestão da Água, S.A.” -2006**. Relatório N.º2/2008 – FS/SRMTc. Tribunal de Contas. Secção Regional da Madeira

Disponível em: [http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel\\_auditoria/2008/audit-srmtc-rel002-2008-fs.pdf](http://www.tcontas.pt/pt/actos/rel_auditoria/2008/audit-srmtc-rel002-2008-fs.pdf)

TECHNOLOGYREVIEW (n.d.) - **A dessalinização na Espanha**.

TENN, A. (2010) - **Sea Water Desalination in Israel: Planning, coping with difficulties, and economic aspects of long-term risk**. Desalination Division. State of Israel.

Disponível em: <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Desalination/Documents/Desalination-in-Israel.pdf>

UNEP (2009) - **A World of Salt**. UNEP/GRID - Maps and Graphics Library. Disponível em: <http://maps.grida.no/go/graphic/a-world-of-salt>.

UNICEF (2008) - **Handbook on Water Quality**. United Nations Children's Fund (UNICEF), New York.

Disponível em: [http://www.unicef.org/wash/files/WQ\\_Handbook\\_final\\_signed\\_16\\_April\\_2008.pdf](http://www.unicef.org/wash/files/WQ_Handbook_final_signed_16_April_2008.pdf)

WATSON, I., MORIN, O. e HENTHOME, L. (2003) - **Desalting Handbook for Planners, Third Edition**. Desalination and Water Purification. Research and Development Program. Report No. 7. RosTek Associates, Inc., Tampa, Florida

Disponível em: <http://www.usbr.gov/pmts/water/media/pdfs/report072.pdf>

WHO (2007) – “**Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination**”. Desalination for Safe Water Supply. Public Health and the Environment. World Health Organization. Geneva

Disponível em:

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/gdwqrevision/desalination.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf)

WHO (2011) - **Safe Drinking-water from Desalination**. WHO/HSE/WSH/11.03. Genebra.  
Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/hq/2011/WHO\\_HSE\\_WSH\\_11.03\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2011/WHO_HSE_WSH_11.03_eng.pdf)

WINPENNY, J., HEINZ, I. e KOO-OSHIMA, S. (2010) - **The wealth of waste**. The economics of wastewater use in agriculture. FAO water reports 35. Roma.  
Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO A

## **ANEXO A**

## ANEXO A

### SANTIAGO GOLF RESORT, ILHA DE SANTIAGO, CABO VERDE (Em estudo)

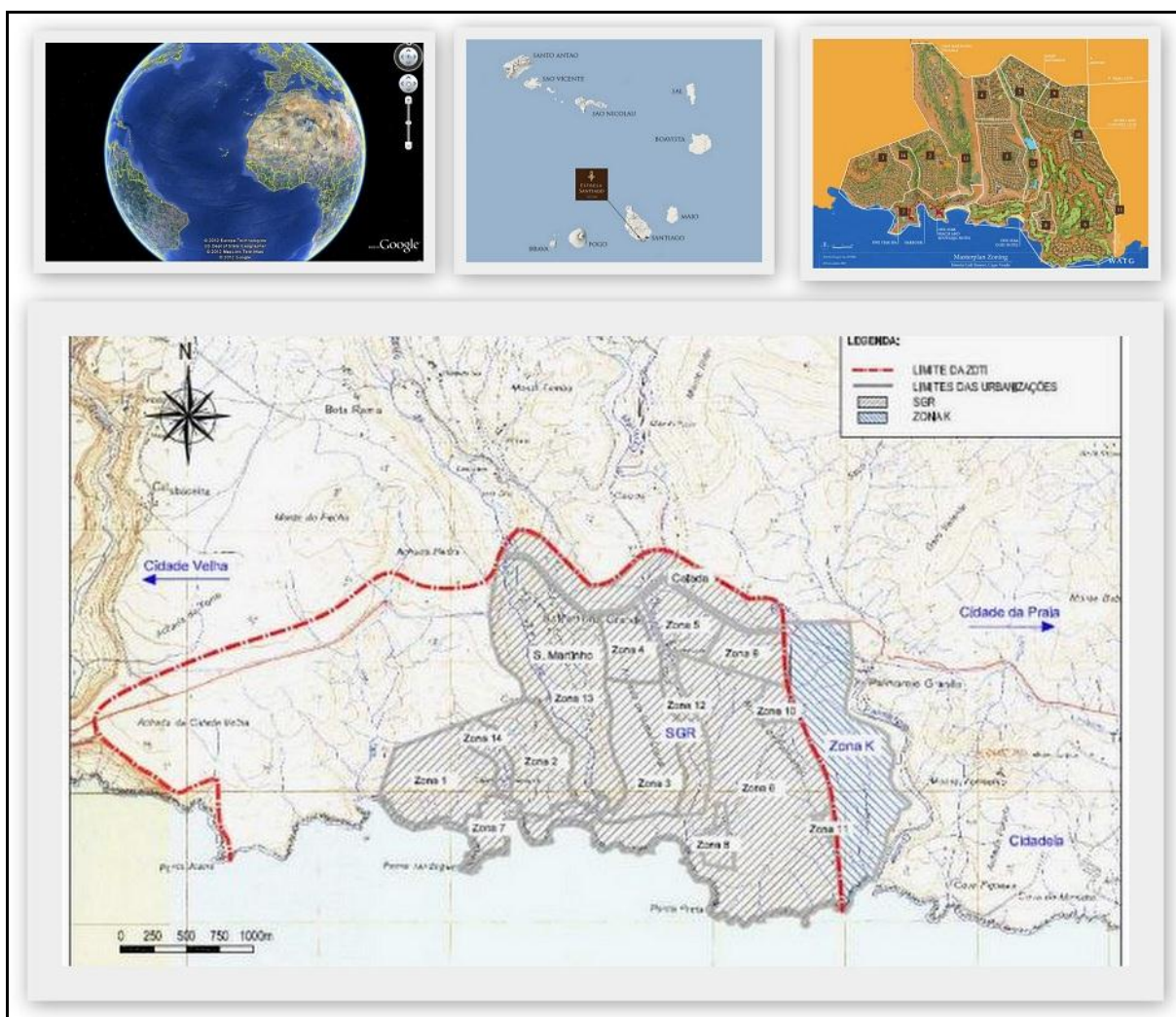


Figura A.1. Implantação da ZDTI e da SGR.

(<http://www.google.com/>, <http://www.estrelasantiago.com/>, Diogo et al (2008))

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO A

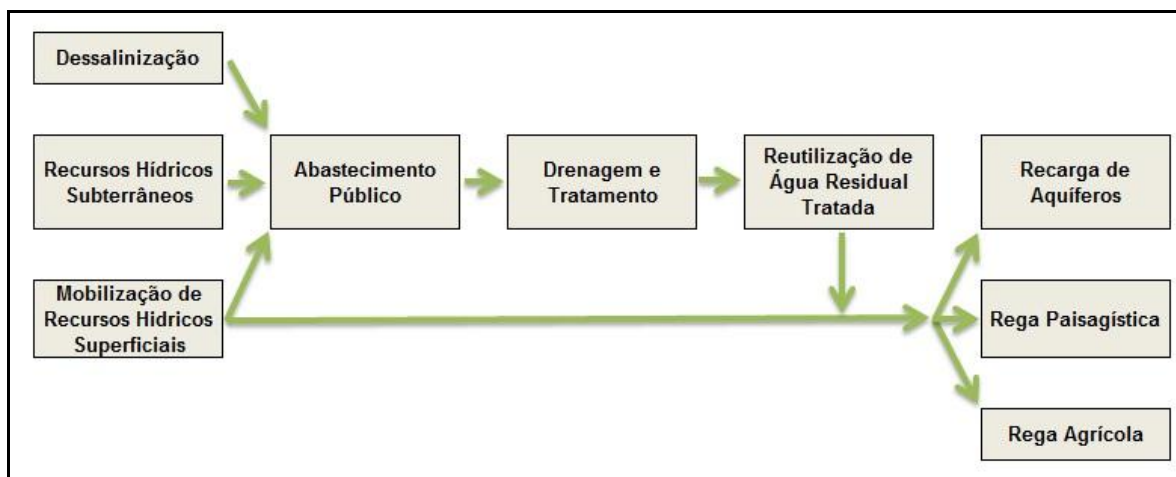


Figura A.2. Perspectiva global das questões em estudo. (adaptado de Diogo et al, 2011)

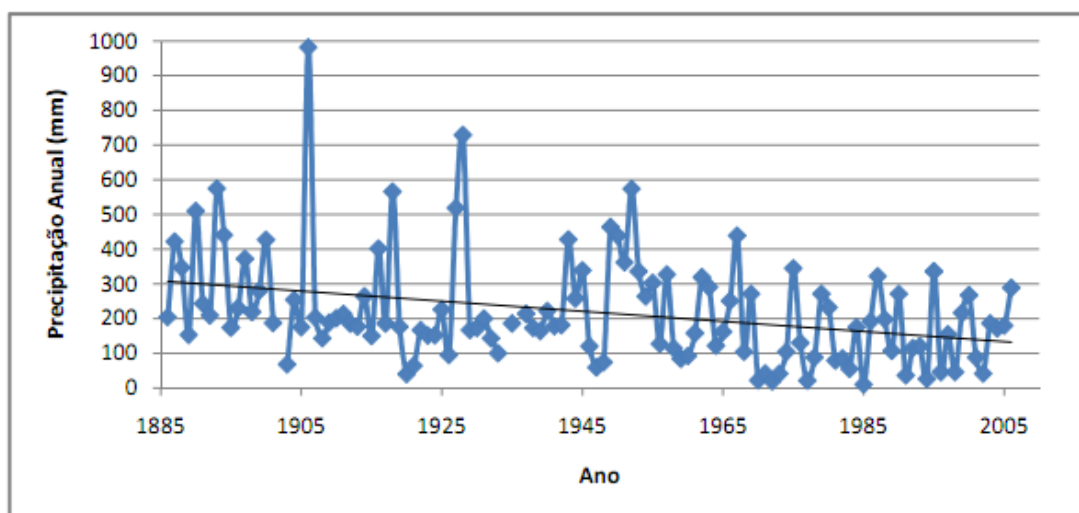


Figura A.3. Evolução da precipitação anual no posto da Praia, desde 1886, até 2006.  
(Diogo et al, 2011)

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO B

## **ANEXO B**

## ANEXO B

### AVALIAÇÃO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – SOCIEDADE TURÍSTICA COSTA DE PRATA, SANTIAGO, CABO VERDE

#### 1. Dados Gerais

Considerando uma capitação média para rega de 70 m<sup>3</sup>/d/ha nos meses mais secos (Março, Abril e Maio) e 50 m<sup>3</sup>/d/ha, resulta a seguinte distribuição de disponibilidades e necessidades, representada no Quadro B.1 e ilustrado na Figura B.1.

Quadro B.1. Balanço hídrico para rega paisagística.

Mês	Unid	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out
Efluente - Capit.	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	4,08	4,08	4,08	4,08	-5,53	-5,53	-5,53	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08
AC. Efluente - Capit.	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	4,08	8,16	12,24	16,32	10,79	5,26	-0,27	3,81	7,89	11,97	16,05	20,13
Efluente ETAR	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11
AC. Efluente ETAR	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	28,11	56,22	84,33	112,44	140,55	168,66	196,77	224,88	252,99	281,10	309,21	337,32
Capit. Média/ ano	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03
AC. Capit. Média/ ano	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	24,03	48,06	72,09	96,12	120,15	144,18	168,21	192,24	216,27	240,30	264,33	288,36
Capit. Média/ mês	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	24,03	24,03	24,03	24,03	33,64	33,64	33,64	24,03	24,03	24,03	24,03	24,03
AC. Capit. Média/ mês	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	24,03	48,06	72,09	96,12	129,76	163,40	197,04	221,07	245,10	269,13	293,16	317,19
Temperatura (°C)	°C	27	25	24	24	25	25	25	26	27	29	29	29
Precipitação mm	mm	2,5	1,6	5,3	3,8	1,3	0	0	0	0,8	14,1	33,6	6,5



Figura B.1. Ilustração do balanço hídrico para rega paisagística.



Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
 Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO B

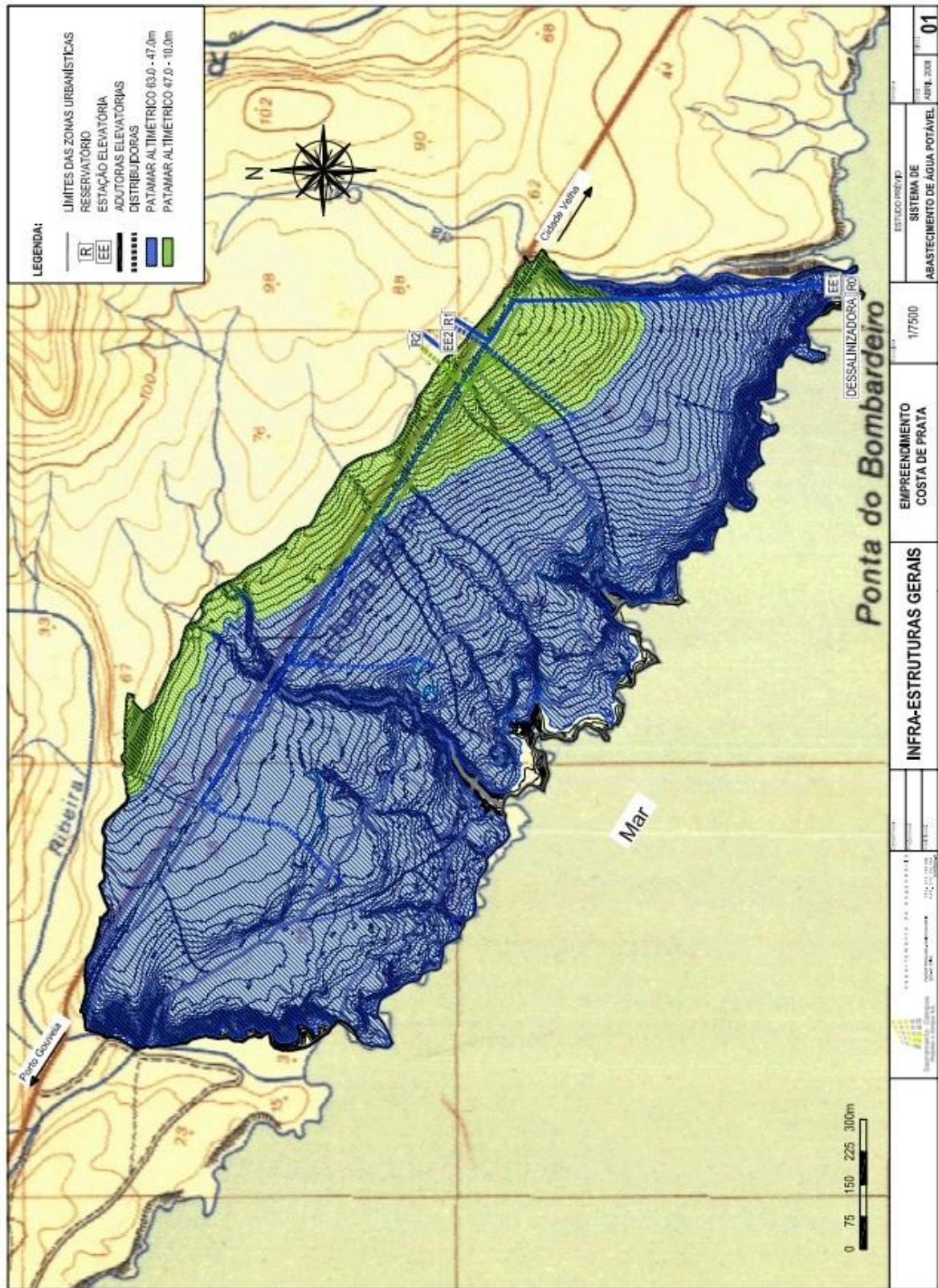


Figura B.2. Sistema de abastecimento de água potável.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
 Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO B

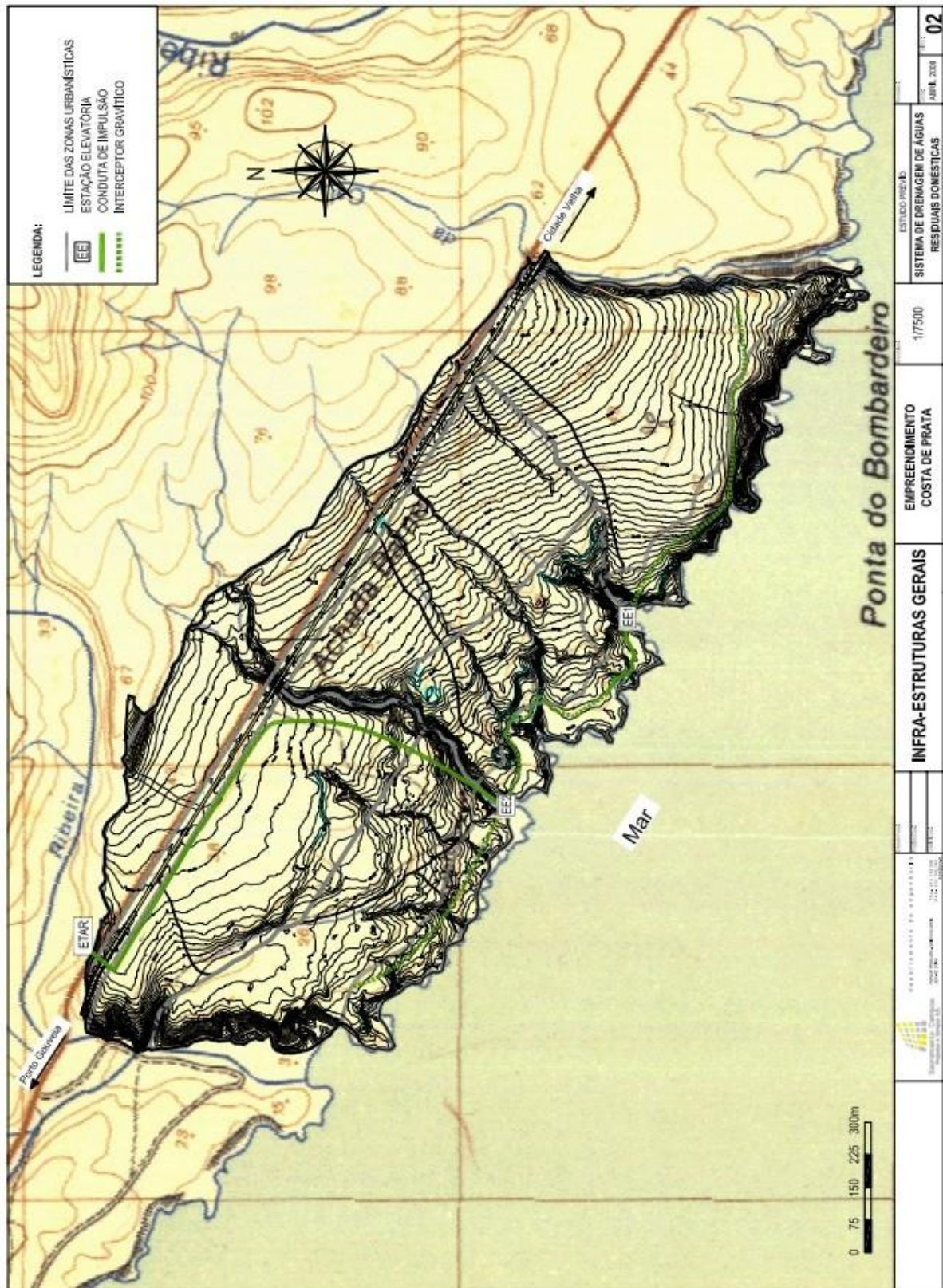


Figura B.3. Sistema de drenagem de águas residuais domésticas.

Reutilização de águas residuais comunitárias tratadas versus outras origens alternativas.  
Análise dos aspectos económicos, ambientais, de qualidade dos efluentes e factores de risco.

ANEXO B

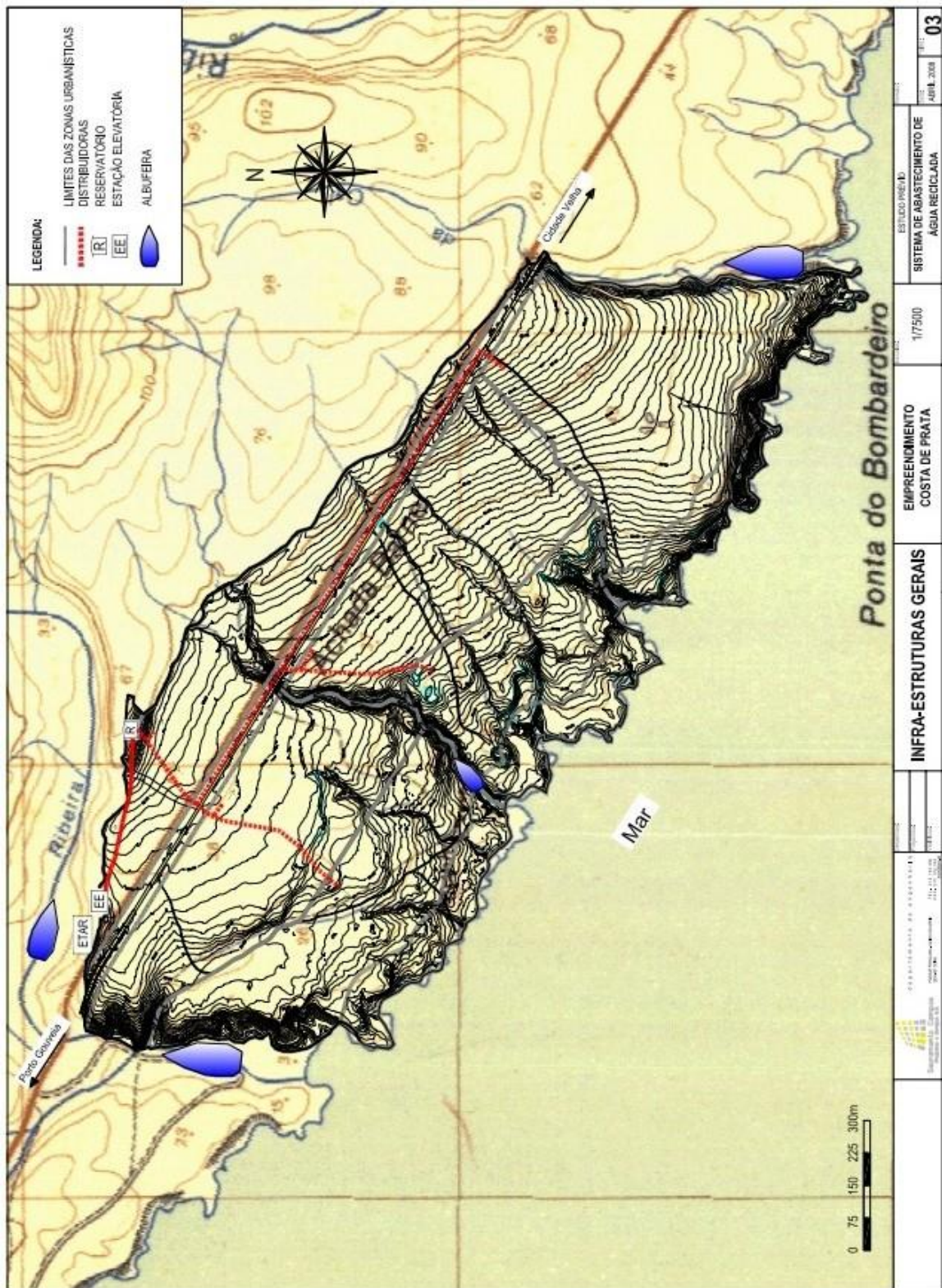


Figura B.4. Sistema de abastecimento de água reciclada.